PARTS OF THE ORIGINAL DOCUMENT

ARE OF POOR REPRODUCTIVE QUALITY

CERTAINES PARTIES DU DOCUMENT ORIGINAL

SONT DE PIÈTRE QUALITÉ DE REPRODUCTION

IGM88RT-203-722-G
CNRC 28902

Rapport intérimaire

APPROXIMATION D'UNE ÉPROUVETTE CDCB LINÉAIRE ET CALCUL D'UN FACTEUR DE CORRECTION D'UNE ÉPROUVETTE DCB

par:

Jean Doyon et François G. Hamel

Janvier 1988

Institut de génie des matériaux
Conseil national de recherches Canada
75 boul. de Mortagne
Boucherville (Québec)
J4B 6Y4

TABLE DES MATIÈRES

Table des matières.....i

Liste des tableaux et figures.....ii

Nomenclature..... v

1.0 Introduction.....1

2.0 Approximation linéaire d'une éprouvette CDCB.....1

3.0 Facteur de correction d'une éprouvette DCB.....11

3.1 Généralités.....11
3.2 Analyse des résultats.....11

3.2.1 Analyse statistique.....13
3.2.2 Influence de la longueur de fissure.....16
3.2.3 Influence de la température.....17
3.2.4 Influence de l'épaisseur de colle.....18

3.3 Discussion des résultats.....18

4.0 Conclusion.....20

Références.....22

Annexe A: Généralités informatiques

Tableaux et figures

LISTE DES TABLEAUX ET FIGURES

Tableau 1 Compliance et dérivée de la compliance pour une éprouvette CDCB linéaire

Tableau 2 Différence entre les longueurs de fissure calculée et mesurée

Tableau 3 Tableau des coefficients et de l'analyse de la variance

Tableau 4 Tableau des résidus

Tableau 5 Statistiques concernant le facteur de correction

Figure 1 Profils d'éprouvettes CDCB et linéaire

Figure 2 Compliances d'éprouvettes CDCB et linéaire

Figure 3 Dérivées de la compliance d'éprouvettes CDCB et linéaire

Figure 4 Énergies de rupture d'éprouvettes DCB, CDCB et CDCB linéaire en fonction de la longueur de fissure pour une charge critique de 500 N

Figure 5 Fréquence de la distribution entre les longueurs de fissure calculée et mesurée après correction

Figure 6 Différence entre a calculé et a mesuré en fonction de a calculé pour une épaisseur nominale de 0,1 mm et pour une rupture cohésive

Figure 7 Différence entre a calculé et a mesuré en fonction de a calculé pour une épaisseur nominale de 0,3 mm et pour une rupture cohésive

Figure 8 Différence entre a calculé et a mesuré en fonction de a calculé pour une épaisseur nominale de 0,4 mm et pour une rupture cohésive

Figure 9 Différence entre a calculé et a mesuré en fonction de a calculé pour une épaisseur nominale de 1,5 mm et pour une rupture cohésive

Figure 10 Différence entre a calculé et a mesuré en fonction de a calculé pour une épaisseur nominale de 2,3 mm et pour une rupture cohésive

Figure 11 Différence entre a calculé et a mesuré en fonction de a calculé pour une épaisseur nominale de 2,8 mm et pour une rupture cohésive

Figure 12 Différence entre a calculé et a mesuré en fonction de a calculé pour une épaisseur nominale de 0,1 mm et pour une rupture adhésive

Figure 13 Différence entre a calculé et a mesuré en fonction de a calculé pour une épaiseur nominale de 0,3 et 0,4 mm et pour une rupture adhésive

Figure 14 Différence entre a calculé et a mesuré en fonction de a calculé pour une épaisseur nominale de 1,0 mm et pour une rupture adhésive

Figure 15 Différence entre a calculé et a mesuré en fonction de a calculé pour une épaisseur nominale de 2,8 mm et pour une rupture adhésive

Figure 16 Influence de la température sur la différence entre a calculé et a mesuré pour différentes épaisseurs de colle et pour une rupture cohésive

Figure 17 Influence de la température sur la différence entre a calculé et a mesuré pour différentes épaisseurs de colle et pour une rupture adhésive

Figure 18 Influence de l'épaisseur de colle sur la différence entre a calculé et a mesuré pour différentes températures et pour une rupture cohésive

Figure 19 Influence de l'épaisseur de colle sur la différence entre a calculé et a mesuré pour différentes températures et pour une rupture adhésive

Figure 20 Valeur finale de Ac-Am après correction en fonction de la valeur initiale de Ac-Am

Figure 21 Probabilité cumulative de la différence entre a calculé et a mesuré avant et après correction

NOMENCLATURE

G_c : énergie de rupture (J/m^2)

G_a : énergie d'arrêt (J/m^2)

P : charge critique (N)

a : longueur de fissure (mm)

a_c : longueur de fissure calculée (mm)

a_m : longueur de fissure mesurée (mm)

a_{cc} : longueur de fissure calculée et corrigée (mm)

ν : coefficient de Poisson

K_{1c} : facteur d'intensité de contraintes

E : module d'Young

C : compliance (mm/N)

B : largeur de l'éprouvette (mm)

h : épaisseur de l'éprouvette (mm)

m' : constante (1/mm)

m : pente du côté de l'éprouvette

K : constante

1.0 INTRODUCTION

Ce rapport est rédigé en deux parties bien distinctes avec cependant le même objectif, soit augmenter la précision des calculs des énergies de rupture et d'arrêt des adhésifs en diminuant l'erreur de la longueur de fissure calculée.

L'éprouvette CDCB (Contoured Double Cantilever Beam) utilisée d'abord par Mostovoy et al [2] permet d'avoir une valeur de l'énergie à la rupture (G_c) indépendante de la longueur de fissure (a). Cette éprouvette est cependant difficile à fabriquer. La première partie de ce rapport a pour but de calculer G_c en fonction de la longueur de fissure pour une approximation linéaire de l'éprouvette CDCB et d'évaluer l'erreur faite en utilisant cette éprouvette.

La formule visant à calculer la longueur de fissure, pour cette approximation d'éprouvette CDCB que nous appelerons CDCB linéaire est démontrée dans ce rapport. Les résultats sont comparés avec ceux des échantillons CDCB et DCB.

La deuxième partie du rapport vise plutôt à diminuer l'erreur commise lors de l'estimation de la longueur de fissure d'un échantillon DCB à partir de la compliance. Pour un échantillon DCB, on sait qu'une faible erreur de la longueur de fissure calculée entraîne une erreur relativement importante dans le calcul de G_c et G_a. Un facteur de correction qui tient compte de l'épaisseur du joint de colle, de la température de l'essai et de la longueur de fissure est trouvé et analysé pour chacune des ces trois variables.

2.0 APPROXIMATION LINÉAIRE D'UNE ÉPROUVETTE CDCB

La qualité d'un adhésif est évaluée en terme d'énergie de rupture au lieu de facteur d'intensité de contrainte car les échantillons utilisés pour les essais ne sont pas constitués d'un matériau homogène. Dans le cas de matériau

linéairement élastique, on peut toutefois relier ces deux termes par l'expression suivante:

$$G_{1c} = \frac{1-\nu^2}{E} \quad K_{1c}^2 \qquad \text{déformation plane} \qquad \text{éq. (1)}$$

$$G_{1c} = \frac{K_{1c}^2}{E} \qquad \text{contrainte plane} \qquad \text{éq. (2)}$$

L'énergie de rupture est déterminée expérimentalement par [3]:

$$G_{1c} = \frac{P^2}{2B} \frac{dC}{da} \qquad \text{éq. (3)}$$

Les deux principaux types d'éprouvettes utilisés sont:

- DCB (Double Cantilever Beam): usinage simple et calcul complexe (avec incertitude sur la longueur de fissure calculée);

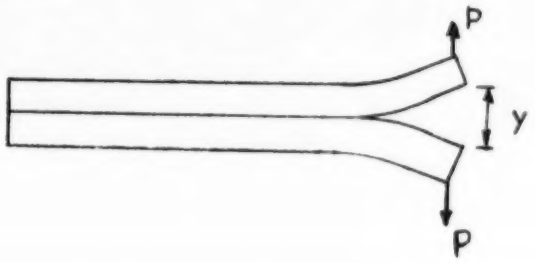
- CDCB (Contoured Double Cantilever Beam): usinage complexe et calcul simple.

Au cours de ce chapitre, on vérifiera s'il est possible de combiner l'avantage des deux types d'éprouvette, soit le calcul simple d'un CDCB en simplifiant son profil par une approximation linéaire.

L'avantage d'utiliser une éprouvette CDCB est que la relation entre la charge critique P_c et l'énergie de rupture G_{1c} est indépendante de la longueur de fissure, d'où une meilleure précision étant donné l'élimination de l'incertitude de la longueur de fissure calculée.

Pour obtenir ce type d'éprouvette, son profil doit être déterminé de façon à ce que la dérivée de la compliance soit constante, donc la compliance doit varier linéairement par rapport à la longueur de fissure.

La compliance d'un échantillon correspond au rapport du déplacement y sur la charge P. Elle définit ainsi la rigidité de l'échantillon.



Selon la théorie des poutres, la compliance est donnée par [3]:

$$C = \frac{24}{EB}\int_o^a \frac{x^2}{h^3}\,dx + \frac{6(1+\nu)}{EB}\int_o^a \frac{1}{h}\,dx \qquad \text{éq. (4)}$$

Le premier terme représente la contribution de la résistance à la flexion de l'échantillon alors que le deuxième terme représente la résistance au cisaillement. Pour l'aluminium, où $\nu = 1/3$, cette équation devient:

$$C = \frac{8}{EB}\int_o^a \left(\frac{3x^2}{h^3} + \frac{1}{h}\right) dx \qquad \text{éq. (5)}$$

donc:

$$\frac{dC}{da} = \frac{8}{EB}\left[\frac{3a^2}{h^2} + \frac{1}{h}\right] \qquad \text{éq. (6)}$$

Le profil d'une éprouvette CDCB est défini en posant l'égalité suivante:

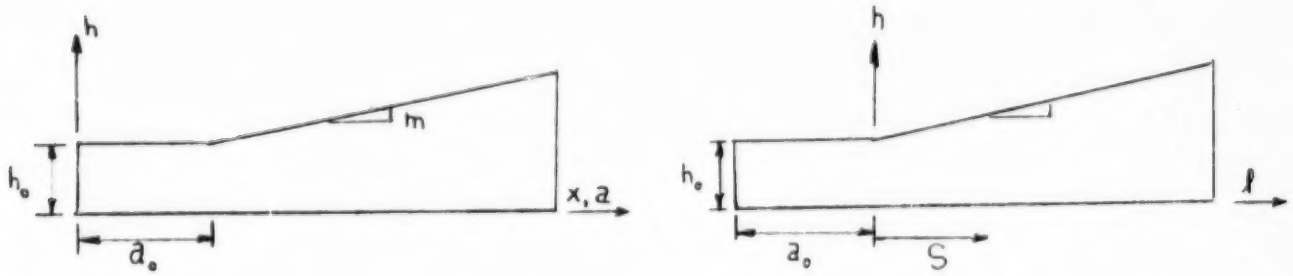
$$m' = \frac{3a^2}{h^3} + \frac{1}{h} = cte \qquad \text{éq. (7)}$$

L'énergie de rupture devient:

$$G_{1c} = \frac{4P_c^2}{EB^2}\,m' \qquad \text{éq. (8)}$$

Toutefois, ce type d'éprouvette nécessite un machinage relativement complexe. Sur la figure 1, on remarque qu'on peut approximer ce profil par une droite. Cependant, la compliance ne varie plus linéairement tel que vu sur la figure 2.

Afin d'évaluer l'amplitude de l'erreur commise lors de cette approximation, on effectue un changement de coordonnées:



Selon le nouveau système de coordonnées:

$$\begin{aligned} s &= x - a_o \\ x &= s + a_o \\ ds &= dx \\ a - a_o &= \ell \\ h &= ms + h_o \end{aligned} \qquad \text{éq. (9)}$$

De l'équation (5):

$$C = \frac{8}{Eb}\left[\int_o^{a_o}\left(\frac{3x^2}{h^3(x)} + \frac{1}{h(x)}\right) dx + \int_{a_o}^{a}\left(\frac{3x^2}{h^3(x)} + \frac{1}{h(x)}\right) dx\right] \qquad \text{éq. (10)}$$

La première intégrale est constante et égale à:

$$\int_o^{a_o}\left(\frac{3x^2}{h^3(x)} + \frac{1}{h(x)}\right) dx = \frac{a_o^3}{h_o^3} + \frac{a_o}{h_o} \qquad \text{éq. (11)}$$

En changeant les variables tel que décrit par l'équation (9), la deuxième intégrale devient:

$$\int_{a_o}^{a} \left(\frac{3x^2}{h^3(x)} + \frac{1}{h(x)}\right) dx + \int_{o}^{\ell} \left(\frac{3(s + a_o)^2}{(ms + h_o)^3} + \frac{1}{ms + h_o}\right) ds \qquad \text{éq. (12)}$$

La compliance peut donc s'écrire:

$$C = \frac{8}{EB} \left\{\frac{a_o^3}{h_o^3} + \frac{a_o}{h_o} + \frac{3}{m^3} \left[\ln\left(\frac{h_o + m\ell}{h_o}\right) + \frac{2h_o}{h_o + m\ell}\left(1 - \frac{h_o}{4(h_o + m\ell)}\right) - \frac{3}{2}\right]\right.$$

$$+ \frac{6a_o}{m^2}\left[\frac{1}{h_o + m\ell}\left(\frac{h_o}{2(h_o + m\ell)} - 1\right) + \frac{1}{2h_o}\right] + \frac{3a_o^2}{2m}\left[\frac{1}{h_o^2} - \frac{1}{(h_o + m\ell^2)}\right] +$$

$$\left. + \frac{1}{m} \ln\left[\frac{h_o + m\ell}{h_o}\right]\right\} \qquad \text{éq. (13)}$$

$$\frac{dc}{da} = \frac{8}{EB}\left[\frac{3(\ell + a_o)^2}{m\ell + h_o)^3} + \frac{1}{m\ell + h_o}\right] \qquad \text{éq. (14)}$$

Les figures 1, 2 et 3 montrent le profil, la compliance et sa dérivée respectivement en fonction de la longueur de fissure pour des éprouvettes CDCB et linéaire en fixant a_o = 48,641 mm, m' = 3,5433 mm^{-1}, h_o = 12,7 mm et m (pente du côté de CDCB linéaire) = 0,13144.

Sur la figure 1, on remarque que pour $48{,}641 < a < 193{,}5734$ mm, l'éprouvette CDCB contient plus de matière que l'éprouvette linéaire. Par conséquent, sa compliance est plus faible et sa rigidité plus grande tel que vu sur la figure 2.

La figure 3 montre clairement la différence entre les pentes des deux types d'éprouvettes de la figure 2. On peut également voir l'erreur commise lors du calcul de G_{1c} si on approxime une éprouvette CDCB par une éprouvette linéaire en gardant les formules de calcul d'éprouvette CDCB puisque l'énergie de rupture est directement proportionnelle à la dérivée de la compliance tel que vu à l'équation 3.

Si on calcule l'énergie de rupture d'une éprouvette linéaire indépendamment de la longueur de fissure tel que suggéré par le modèle CDCB, l'erreur maximum se trouve à a ≈100 mm (en considérant les dimensions de l'éprouvette décrites dans le tableau 1) où l'écart entre les 2 pentes est d'environ $2{,}62 \times 10^{-6}$ N^{-1} où 16,55% par rapport à une éprouvette CDCB. Donc, G_{1c} est sous-évalué de 16,55% pour cette longueur de fissure. L'écart moyen entre les deux courbes n'est cependant que $1{,}748 \times 10^{-5}$ N^{-1} ou 10,42%, ce qui implique que si on calcule G_{1c} d'un échantillon comme étant la valeur moyenne des G_{1c} locaux, on sous-estime G_{1c} d'environ 10%.

Il est donc utile d'établir une méthode de calcul de G_{1c} qui tient compte de la longueur de fissure comme lors d'un essai avec une éprouvette DCB, calculée à partir de la compliance de l'échantillon. Expérimentalement, la compliance est donnée par l'inverse de la pente du graphique charge vs déplacement. À partir de cette compliance, on estime la longueur de fissure correspondante selon l'équation 13, et ensuite la dérivée de la compliance à ce point, permettant ainsi de calculer G_{1c}.

Cependant, l'équation 13 doit être modifée de façon à exprimer a (ou ℓ, car $\ell = a - a_o$) en fonction de la compliance. La complexité de cette équation nous amène à utiliser une méthode itérative de résolution (car ℓ est parfois exprimé sous forme logarithmique). L'équation 13 peut être réarrangée en plaçant les termes constants ensemble pour ne les calculer qu'une seule fois.

De l'équation 13:

$$\frac{EBC}{8} = \boxed{\frac{a_o^3}{h_o^3}} + \boxed{\frac{a_o}{h_o}} + \frac{3}{m^3} \ln\left(\frac{h_o + m\ell}{h_o}\right) + \frac{6h_o}{(h_o + m\ell)m^3}\left(1 - \frac{h_o}{4(h_o + m\ell)}\right) - \boxed{\frac{9}{2m^3}}$$
$$+ \frac{6a_o}{m^2}\left[\frac{1}{h_o + m\ell}\left(\frac{h_o}{2(h_o + m\ell)} - 1\right)\right] + \boxed{\frac{3a_o}{h_o m^2}} + \boxed{\frac{3a_o^2}{2mh_o^2}} - \frac{3a_o^2}{2m(h_o + m\ell)^2} +$$
$$+ \frac{1}{m} \ln\left[\frac{h_o + m\ell}{h_o}\right] \qquad \text{éq. (15)}$$

Les termes encadrés sont indépendants de la longueur de fissure. En les

rassemblant:

$$K = cte = \frac{EBC}{8} - \frac{a_o^3}{h_o^3} - \frac{a_o}{h_o} + \frac{9}{2m^3} - \frac{3a_o}{h_o m^2} - \frac{3a_o^2}{2mh_o^2} \qquad \text{éq. (16)}$$

En multipliant les deux côtés de l'équation (15) par m et en introduisant K:

$$mK = \frac{3}{m^2} \ln\left(\frac{h_o + m\ell}{h_o}\right) + \frac{6h_o}{(h_o + m\ell)m^2}\left(1 - \frac{h_o}{4(h_o + m\ell)} + \right.$$

$$\left. \frac{6a_o}{m}\left[\frac{1}{h_o + m\ell}\left(\frac{h_o}{2(h_o + m\ell)} - 1\right)\right] - \frac{3a_o^2}{2(h_o + m\ell)^2} + \ln\left[\frac{h_o + m\ell}{h_o}\right]\right. \qquad \text{éq. (17)}$$

On pose:

$$Z = \frac{h_o + m\ell}{h_o} \qquad \text{éq. (18)}$$

L'équation à résoudre par itération devient après réarrangement:

$$mK' = \left(\frac{3}{m^2} + 1\right) \ln Z + \frac{6}{Z}\left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{4m^2 Z} + \frac{a_o}{2mZh_o} - \frac{a_o}{mh_o} - \frac{a_o^2}{4Zh_o^2}\right) \qquad \text{éq. (19)}$$

La méthode d'itération utilisée est celle de Newton-Raphson [4]. L'incrément à chaque itération est de $-f(Z_k)/f'(Z_k)$; cette méthode converge très rapidement lorsque la dérivée varie peu comme dans notre cas.

Donc:

$$Z_{k+1} = Z_k - \frac{f(Z_k)}{f'(Z_k)} \qquad \text{éq. (20)}$$

En réarrangeant (19):

$$f(Z) = mK - \left(\frac{3}{m^2} + 1\right) \ln Z - \frac{6}{Z}\left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{4m^2 Z} + \frac{a_o}{2mZh_o} - \frac{a_o}{mh_o} - \frac{a_o^2}{4Zh_o^2}\right) \qquad \text{éq. (21)}$$

$$\frac{df(Z)}{dZ} = f'(Z) = \frac{1}{Z^2}\frac{6}{m}\left(\frac{1}{m} - \frac{a_o}{h_o}\right) - \frac{3}{Z^3}\left(\frac{1}{m^2} - \frac{2a_o}{mh_o} + \frac{a_o^2}{h_o^2}\right) - \frac{1}{Z}\left(\frac{3}{m^2} + 1\right) \qquad \text{éq. (22)}$$

Certains facteurs ne sont fonction que de la géométrie de l'échantillon.

$$\begin{aligned} V_1 &= a_o/h_o \\ V_2 &= \frac{3}{m^2} + 1 \\ V_3 &= 6\left(\frac{1}{m^2} - \frac{a_o}{mh_o}\right) \\ V_4 &= 6\left(\frac{1}{4m^2} - \frac{a_o}{2mh_o} + \frac{a_o^2}{4h_o^2}\right) \\ V_5 &= \frac{6}{m}\left(\frac{1}{m} - \frac{a_o}{h_o}\right) \\ V_6 &= 3\left(\frac{1}{m^2} - \frac{2a_o}{mh_o} + \frac{a_o^2}{h_o^2}\right) \end{aligned} \qquad \text{éq. (23)}$$

Donc:

$$f(Z) = mK - V_2 \ln Z - \frac{1}{Z}\left(V_3 - \frac{V_4}{Z}\right) \qquad \text{éq. (24)}$$

$$f'(z) = \frac{V_5}{Z^2} - \frac{V_6}{Z^3} - \frac{V_2}{Z} \qquad \text{éq. (25)}$$

Le programme suivant permet de trouver les racines à ±0,001 mm après 3 itérations seulement. Ce programmes (ITER.FOR) est le plus général permettant de calculer la longueur de fissure en fonction de la compliance.

Tel que vu dans ce chapitre, l'approximation d'une éprouvette CDCB par une éprouvette linéraire entraîne une sous-évaluation moyenne d'environ 10% sauf si on calcule l'énergie de rupture selon les formules exactes décrites

```
      IMPLICIT REAL*8(A-H,M-Z)

      A0 = 48.641
      H0 = 12.7
      M = 0.13144
      E = 70500.
      B = 25.4
      V1 = A0 / H0
      V2=1. + 3./M**2.
      V3=(1./M**2.-V1/M)*6.
      V4= (0.25/M**2. -V1/(2.*M) + 0.25*V1**2.)*6.
      V5= (1./M - V1)*6./M
      V6= (1./M**2. - 2.*V1/M + V1**2.) *3.
      COMPLI = 1.55993345E-03
      T1=E*B*COMPLI/8.-V1**3.-V1+4.5/M**3.-3.*V1/M**2.-1.5*V1**2./M
      T1 = T1*M
      Z=1.
      DO 10 I=1,3
      TEMP=T1-V2*LOG(Z)-(V3-V4/Z)/Z
      DTEMP=V5/(Z*Z) - V6/(Z*Z*Z) - V2/Z
      Z = Z - TEMP/DTEMP
10    CONTINUE
      A = A0 + H0*(Z-1)/M
      WRITE(6,*) 'Z = ',Z,'A = ',A
      END
```

Ce programme a été transcrit en BASIC dans le logiciel G_{1c} sur l'ordinateur PDP-11. Il correspond à l'option 3-CDCB linéaire (lignes 11300 à 11420).

plus tôt. Dans ce cas, l'avantage de ne pas tenir compte de la longueur de fissure disparaît et on se retrouve ainsi au même point que pour une éprouvette DCB où le machinage est beaucoup plus simple et les calculs moins fastidieux étant donné que la longueur de fissure peut être déterminée sans procéder par intération.

Cependant, la précision des calculs est directement reliée à la précision avec laquelle on évalue la longueur de fissure à partir de la compliance. Même si les formules sont exactes, l'expérience montre que la longueur de fissure est toujours surévaluée de 3 à 6 mm environ, dépendant de la

température de l'essai, de l'épaisseur du joint de colle et de la longueur de fissure elle-même.

La figure 4 montre la valeur de l'énergie de rupture pour les trois types d'éprouvettes en fonction de la longueur de fissure en supposant une charge critique de 500 N. Il est alors facile de voir que G_c est beaucoup plus sensible à la longueur de fissure estimée pour une éprouvette DCB, ce qui entraîne une erreur considérable dans le calcul de G_c comparativement à une éprouvette CDCB linéaire.

Par exemple, supposons une erreur de +5 mm au début de l'échantillon ($a_{réelle}$=50 mm) au milieu ($a_{réelle}$=120 mm) et à la fin ($a_{réelle}$=180 mm).

Pour une éprouvette DCB:

G_{c55} = 0,1280 KJ/m^2	G_{c125} = 0,5681	G_{c185} = 1,1964
G_{c50} = 0,1086	G_{c120} = 0,5262	G_{c180} = 1,1352
% erreur: 17,86%	7,97%	5,39%

Pour une éprouvette CDCB linéaire:

G_{55} = 0,0821 KJ/m^2	G_{c125} = 0,0886	G_{c185} = 0,0793
G_{50} = 0,0789	G_{c120} = 0,0892	G_{c180} = 0,0802
% erreur: 4,05%	-0,62%	-1,0647%

Par cet exemple, il est évident qu'une erreur dans l'estimation de a est beaucoup moins importante dans le calcul de G_c pour une éprouvette CDCB linéaire que DCB. On atteint ainsi l'objectif fixé au début, soit un échantillon relativement simple à machiner et une énergie de rupture peu sensible à la longueur de fissure augmentant ainsi la précision des calculs. Ce type d'éprouvette nécessite toutefois un peu plus de calculs, mais sans exagération. De plus, avec l'utilisation d'un programme d'ordinateur, la

complexité des calculs est un inconvénient négligeable.

Aussi, une éprouvette à G constant ou presque (pour une force donnée) permet de faire des essais de corrosion à force contrôlée impossibles à réaliser avec des éprouvettes DCB.

Le profil de l'éprouvette CDCB a été déterminé par une analyse basée sur la théorie des poutres. Une analyse précise par éléments finis [12] permet d'apporter une facteur de correction additionnel variant entre 0,95 et 1,05 selon la longueur de fissure.

3.0 FACTEUR DE CORRECTION D'UNE ÉPROUVETTE DCB

3.1 Généralités

Comme nous l'avons vu au chapitre précédent, une erreur de quelques millimètres lors de l'estimation de la longueur de fissure à partir de la compliance pour un échantillon DCB entraîne une erreur non-négligeable de G_c et G_a. Le but de cette étude est justement de minimiser cette erreur en apportant un facteur de correction qui tient compte de la température de l'essai, de l'épaisseur de colle mesurée après l'essai et de la longueur de fissure elle-même.

Les données sont tirées des expériences faites avec la colle J et inscrites dans le fichier ACAM (voir tableau 2) dans le logiciel RS/1. Les échantillons EJ35 à EJ59 ont reçu un traitement de surface donné par le partenaire industriel du projet et ont été collés à l'IGM suivant la procédure décrite dans le rapport intitulé: "Influence de la température et de l'épaisseur sur les colles époxydiques" [5].

Les échantillons EJ60 à EJ62 ont été testés à partir d'éprouvettes ayant déjà servi, elles n'ont pas subi le traitement de surface du partenaire, mais ont été sablées et dégraissées au MEK et collées à l'IGM. Les autres

échantillons (EJ31 à EJ34) ont été collés par le partenaire industriel.

Plusieurs données des échantillons EJ1 à EJ34 ne sont pas inscrites dans ce fichier pour l'une des raisons suivantes:

- l'essai s'est déroulé dans l'eau.
- la rupture a été adhésive (ces éprouvettes n'ont pas le même fini de surface que les échantillons 35 à 62).
- aucune marque d'arrêt n'était visible.

Le fichier ACAM est divisé en onze colonnes. La colonne 0 indique le numéro d'échantillon où la mesure a été prise. Plusieurs mesures sont prises sur chaque échantillon. La colonne 1 indique la longueur de fissure calculée à partir de la compliance de l'échantillon. La colonne 2 contient la mesure physique de la longueur de fissure. La colonne 3 montre la température à laquelle s'est déroulé l'essai. L'échantillon devait rester au moins vingt minutes à cette température avant de débuter l'essai. L'épaisseur de colle nominale de la colonne 4 correspond à l'épaisseur des cales (en mm) insérées entre les deux éprouvettes lors du collage. L'épaisseur de la colonne 5 est plutôt celle mesurée après l'essai et correspond à l'épaisseur réelle de la colle (en mm). L'énergie de rupture G_a est indiquée en colonne 6. En colonne 7, on retrouve le type de rupture, 1 pour cohésive et 0 pour adhésive.

Les différences entre les longueurs de fissure calculée et mesurée avant et après correction sont indiquées aux colonnes 8 et 9 respectivement. En colonne 10, on retrouve finalement la longueur de fissure calculée et corrigée (A_{cc}).

Les variables indépendantes utilisées pour calculer le facteur de correction sont celles des colonnes 1, 3 et 5. Aucune distinction n'a été faite concernant le type de rupture.

La méthode de régression utilisée par le logiciel RS/1 est basée sur l'algorithme décrit par J.H. Goodnight dans "The American Statistician", Août

1979. La fonction RS/1 pour une régression du 1° degré est $FITGLM. C'est un programme contenu dans la bibliothèque publique du logiciel (pour plus de détails voir référence [6] p. 7-4).

La variable dépendante est celle de la colonne 8. On veut trouver une équation du premier degré, la plus générale possible, de la forme:

$a_c - a_m = cte + A1 * a_c + A2 * T + A3 *$ épaisseur colle (h_a) éq. (26)

Les résultats sont donnés au tableau 3.

$a_c - a_m = 1{,}354431 + 0{,}011307 * a_c + 0{,}018601 * T + 0{,}765974 * h_a$ éq. (27)

Pour chaque différence entre a_c et a_m observée, correspond une valeur prédite par cette équation (voir colonne 2 du tableau 4). La colonne 3 de ce même tableau indique la différence entre les colonnes 1 et 2, et est transposée à la colonne 9 du fichier ACAM. La colonne 10 de ACAM est la somme des colonnes 2 et 9 qui est aussi égale à la différence entre les colonnes 1 de ce fichier et 2 du tableau 4. C'est la longueur de fissure corrigée qu'on peut aussi retrouver par la formule de correction.

$a_{cc} = (1 - 0{,}011307)\, a_c - 1{,}354431 - 0{,}018601 * T - 0{,}765974 * h_a$ éq. (28)

$a_{cc} = 0{,}988693 * a_c - 1{,}354431 - 0{,}018601 * T - 0{,}764974 * h_a$ éq. (29)

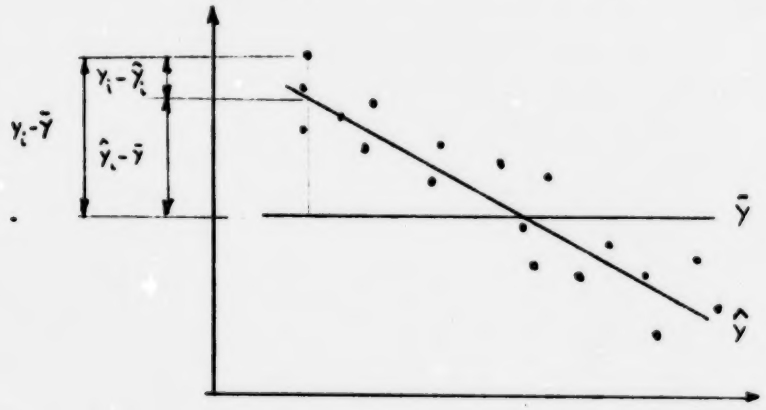
3.2 Analyse des résultats

3.2.1 Analyse statistique

Le tableau 3 donne les coefficients relatifs à chaque facteur étudié. Ce sont ces coefficients que l'on retrouve dans l'équation 28. Plusieurs renseignements utiles peuvent être tirés de ce tableau afin de vérifier l'efficacité de la régression.

La somme des carrés de la régression montre la sommation des carrés des différences entre les valeurs prédites (Y_i) et la valeur moyenne (Y), $\sum (Y_i - Y)^2$, alors que la somme des carrés des différences entre les valeurs observées (Y_i) et les valeurs prédites (Y_i) i.e. les résidus (colonne 3 du tableau 4), $\sum (Y_i - Y_i)^2$. La somme globale des carrés représente le total des différences des carrés entre les valeurs observées et la valeur moyenne i.e. $\sum (Y_i - Y)^2$. Donc:

$$\sum (Y_i - \bar{Y})^2 = \sum (Y_i - \hat{Y}_i)^2 + \sum (\hat{Y}_i - \bar{Y})^2$$



La variation entre chaque valeur observée et sa valeur moyenne est divisée en deux parties. La première partie est due au fait que les valeurs observées ne correspondent pas exactement aux valeurs prédites par la régression alors que la deuxième partie est due à la différence entre les valeurs prédites et la valeur moyenne.

De cette façon, on peut voir jusqu'à quel point la régression est bonne. Si la somme des carrés des différences entre les valeurs observées et prédites était nulle ($\sum (Y_i\ Y_i)^2 = 0$), cela voudrait dire que la régression explique complètement les variations.

Tel n'est pas notre cas puisque le rapport de la somme des carrés de la régression sur la somme globale (R^2) n'est que 0,432921. Ceci implique que l'équation de la régression explique 43,2921% de la variation totale, ou dans notre cas, l'influence de la longueur de fissure, de la température et de

l'épaisseur de colle ne contribue qu'à 43,2921% de l'erreur commise lors de l'estimation de la longueur de fissure. Le reste (56,7079%) représente les paramètres dont on n'a pas tenu compte ou la dispersion des résultats.

La colonne df indique le nombre de degrés de liberté associé à chaque somme des carrés i.e. le nombre d'informations nécessaires pour la calculer. Ce paramètre est utile lors du calcul de la moyenne carrée (mean square = sum of squares/df) qui sert ensuite à calculer le facteur F. Ce facteur permet de calculer s'il est possible qu'aucun des paramètres n'influence l'erreur.

La valeur de t, obtenue en divisant le coefficient de chaque paramètre par l'erreur standard, sert à déterminer s'il est possible que le paramètre en question n'ait aucun rapport avec l'erreur commise lors de l'estimation de la variable dépendante, autrement dit, s'il est possible que le coefficient soit nul.

On choisi d'abord un intervalle de confiance de 99,9%. Le nombre de degré de liberté de l'erreur est 208. Il faut ensuite trouver la valeur critique de t. Les tables ne donnent t que pour n = 120 et n = ∞.

$$t\ (120,\ 0{,}9995) = 3{,}373 \qquad \text{[réf. 7]}.$$
$$t\ (\infty,\ 0{,}9995) = 3{,}291$$

On prend t critique le plus élevé possible, car on sait que pour n = 208, la valeur de t serait plus faible. Donc, t critique = 3,373.

Or, on remarque que les valeurs de t de chaque paramètre sont supérieures à t critique. Donc, on est sûr à 99,9% qu'il existe une relation entre chacun de ces paramètres et l'erreur commise lors de l'estimation de la longueur de fissure.

Le facteur F permet de vérifier s'il se peut que l'ensemble des facteurs étudiés n'ait aucune influence sur l'erreur.

La valeur de 52,9 est bien supérieure à la valeur de 6,34 trouvée dans les tables pour un niveau de confiance de 99,9%. Autrement dit, on est sûr à plus de 99,9% que l'ensemble des paramètres considérés a une influence sur la mesure de la longueur de fissure.

Jusqu'à maintenant, nous n'avons pas encore accepté le facteur de correction proposé plus tôt, cependant aucun des tests faits dans cette section ne permet de dire que la régression est fausse. Nous allons maintenant étudier ce facteur de correction pour chaque paramètre séparément.

3.2.2 Influence de la longueur de fissure

Les figures 6 à 11 sont tracées avec comme abscisse la longueur de fissure calculée pour des ruptures cohésives. À noter cependant, que la courbe corrigée a comme abscisse la longueur calculée et corrigée (a_{cc}) i.e. colonne 10 du tableau 2.

En général, on remarque que plus la longueur de fissure est élevée, plus $a_c - a_m$ l'est aussi. Les longueurs de fissure calculées à partir de la compliance sont basées sur la théorie des poutres de longueurs infinies, or tel n'est pas le cas. À la fin, les effets de bord sont plus forts. Il est donc normal que l'erreur soit plus grande à ces endroits.

L'ensemble des courbes corrigées est relativement bon, i.e. s'approche de zéro. Toutefois, pour les plus grandes épaisseurs de colle, la courbe corrigée s'éloigne un peu de zéro aux deux extrémités. À ces endroits, le nombre de points disponibles est toujours plus faible. En approximant par une courbe du 2^e degré, il suffit qu'un seul point soit à l'écart pour modifier complètement l'allure de la courbe.

D'ailleurs, un simple coup d'oeil nous fait voir que les points sont distribués presque également de part et d'autre par rapport à zéro, à l'exception de quelques-uns. En général, on peut dire que la correction selon la longueur de fissure est valable pour les ruptures cohésives.

Les figures 12 à 15 concernent plutôt les ruptures adhésives. Aucune distinction n'a été faite lors de la régression concernant le type de rupture afin de généraliser le plus possible le facteur de correction. Tout comme pour les ruptures cohésives, l'erreur s'accroît avec a_c. Les résultats semblent aussi bons que ceux du cas précédent.

3.2.3 Influence de la température

Les figures 16 et 17 montrent la variation de la différence entre a_c et a_m en fonction de la température pour des ruptures cohésives et adhésives. Tout semble indiquer que la température influence peu l'erreur. Or, le coefficient de la température est de 0,018601 mm/°C comparativement à 0,011307 mm/mm pour la longueur de fissure calculée. Toutefois, le produit du coefficient par le paramètre est plus faible.

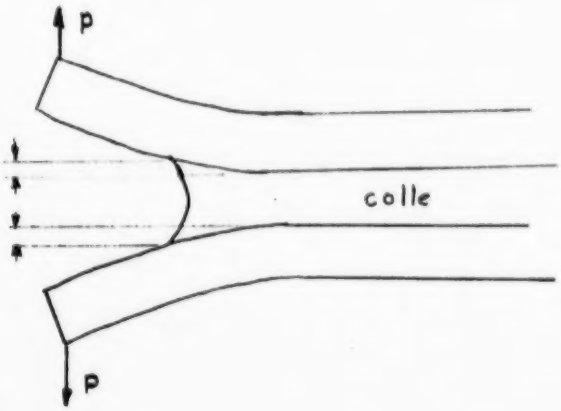
Température: 0,018601 mm/°C * 80°C = 1,488 mm

a_c : 0,011307 mm/mm * 280 mm = 3,166 mm.

En gros, une augmentation de la température a pour effet d'augmenter la longueur apparente de la fissure. Le module de ridigité de l'époxy diminue alors que la ductilité augmente avec accroissement de température.

À la pointe de la fissure, la colle est soumise à un effort de tension permettant ainsi un déplacement supplémentaire entre les deux éprouvettes dû à une déformation élastique et peut-être même plastique de la colle. Ce déplacement augmente avec la température.

déformation supplémentaire



La longueur de fissure mesurée à la marque d'arrêt est donc toujours inférieure à la longueur de fissure obtenue par la compliance de l'échantillon car dans le premier cas, on ne tient pas compte de la déformation supplémentaire alors que dans le deuxième cas, on en tient compte.

En augmentant la température, la zone de déformation (élastique ou plastique) permise par la colle augmente aussi, entraînant un accroissement de la différence entre a_c et a_m. Une faible partie de l'erreur peut être due au module d'élasticité variable de l'aluminium dans l'intervalle de température considéré (-30 à 80°C). Une variation de 2% seulement entraîne une différence de 0,8% dans l'estimation de la longueur de fissure.

Les courbes corrigées sur ces deux graphiques confirment la validité du facteur de correction.

3.2.4 Influence de l'épaisseur de colle

Les figure 18 et 19 montrent l'influence de l'épaisseur de colle sur $a_c - a_m$. En général, on note qu'une grande épaisseur entraîne une élévation de la différence entre a_c et a_m. On peut expliquer ceci par le même phénomène que celui relié à la température. Les deux éprouvettes ne sont pas tangentes à la marque d'arrêt. Plus l'épaisseur de colle est grande, plus le déplacement perpendiculaire à la direction de propagation de fissure des éprouvettes est grand.

L'efficacité du facteur de correction est vérifiée par les courbes corrigées qui sont toutes les deux près de zéro.

3.3 Discussion des résultats

Au cours de ce chapitre, nous avons trouvé un facteur de correction afin de diminuer l'erreur faite lors de l'estimation de la longueur de fissure. Nous avons traité chaque variable séparément et expliqué les causes des erreurs engendrées par ces variables.

Il ne faut pas oublier que cette correction est fonction des propriétés de la colle et n'est donc applicable que pour ce type de colle, soit époxydique jaune. On pourrait l'appliquer pour d'autres types de colle, la précision ne serait probablement pas aussi bonne, mais elle serait sûrement meilleure que lorsqu'on ne tient pas compte du facteur de correction, car même si les propriétés mécaniques diffèrent, les principes expliquant les causes d'erreurs restent les mêmes.

La figure 20 montre le résultat global. La majorité des valeurs corrigées est située près de l'axe nul. L'erreur résiduelle est due à la dispersion expérimentale et des facteurs qui ne sont pas expliqués par la régression. C'est ce qui explique la répartition des points autour d'une droite inclinée. On constate également que 75% des points sont compris à l'intérieur d'un intervalle de ±1,5 mm au lieu de approximativement 2,5 à 6,5 avant correction. Les valeurs de longueurs de fissure sont mesurées avec une règle millimétrique dont l'erreur de lecteur est de 0,5 mm. De plus, il faut ajouter l'erreur commise due à la courbure de la marque d'arrêt en tête de fissure. La valeur calculée peut aussi être faussée. Lors du calcul de la compliance à partir des graphiques charges vs déformation, une erreur de 1% dans l'estimation de la pente entraîne une erreur d'environ ±0,2 mm au début de l'échantillon, mais à la fin, cette erreur peut atteindre ± 1 mm.

Sur les figures 5 et 21, et le tableau 5, on peut voir que l'ensemble des résultats est très bon, la plupart des valeurs sont contenues dans un intervalle assez serré autour des valeurs réelles. On peut expliquer la dispersion des points par les causes d'erreurs mentionnées plus tôt. On en conclut donc que le facteur de correction est très significatif concernant les trois facteurs étudiés. La formule de correction est:

$$a_{cc} = 0{,}988693\ a_c - 1{,}354431 - 0{,}018601 * T - 0{,}765974 * h_a$$

où: a_{cc} = longueur de fissure corrigée (mm)

a_c = longueur de fissure calculée à partir de la compliance (mm)

T = température de l'essai (°C)

h_a = épaisseur réelle (mesurée) de colle (mm).

En évaluant l'expression précédente pour des conditions typiques de a_c (150 mm), T (25°C) et h_a (.4 mm), on trouve

$$a_{cc} - a_c = - 1,696 - 1,354 - ,465 - ,306 = - 3,82$$

Autrement dit, selon la régression, la longueur calculée (a_c) est plus longue d'environ 3,8 mm que la longueur mesurée. Ceci est proche de la valeur moyenne de 4,25 mm pour $a_c - a_m$ selon le tableau 5. Quelques calculs simples nous indiquent que, dans le domaine de nos conditions d'essai, chaque facteur peut influencer la valeur de a_{cc} d'environ ±1,2 mm par rapport aux conditions typiques. L'exception étant pour une épaisseur de 3 mm où la valeur calculée de a_c surestimera la valeur réelle de 2 mm.

On en conclut qu'on pourrait avoir une approximation convenable en n'utilisant qu'un terme de correction constant de 3,82 mm. Le reste de la formule ne fait que diminuer l'écart-type de 1,88 à 1,42 mm.

4. CONCLUSION

Au cours de ce rapport, nous avons développé deux méthodes permettant de calculer les énergies de rupture et d'arrêt avec plus de précision, en diminuant l'erreur commise lors de l'estimation de la longueur de fissure à partir de la compliance de l'échantillon.

La première méthode consiste à utiliser une approximation linéaire d'une éprouvette CDCB dont la relation entre la charge critique et l'énergie de rupture varie peu selon la longueur de fissure. Il a été démontré que l'erreur moyenne en gardant les formules de calcul d'une éprouvette CDCB était d'environ 10% et qu'il était avantageux de développer les formules exactes de la compliance pour ce type d'éprouvette, ce qui d'ailleurs a déjà été fait.

La deuxième méthode utilise plutôt un facteur de correction pour une éprouvette DCB, qui tient compte de la longueur de fissure, de la température de l'essai et de l'épaisseur de colle. Il a été démontré que ces trois facteurs contribuent pour environ 43% de l'erreur entre la longueur calculée et mesurée. Plusieurs tests ont été faits afin de vérifier l'efficacité de la régression. Aucun jusqu'à maintenant n'a permis de rejeter le facteur de correction.

$$a_{cc} = 0{,}988693\ \text{mm/mm} * a_c - 1{,}35443\ \text{mm} - 0{,}018601\ \text{mm/°C} * T - 0{,}765974\ \text{mm/mm} * h_a$$

RÉFÉRENCES

1- Thériault, G. et Hamel, F.G., "Influence des hautes et basses températures sur les joints collés à l'aide d'une colle acrylique", Rapport IGM86-203-366, CNRC 26434 (août 86).

2- Mostovoy, S., Crosley, P.B. et Ripling, E.J., "Use of Crack-Line-Looded Specimens for Measuring Plain-Strain Fracture Toughness", J. Materials, Vol. 2, No. 3, (Sept. 1967).

3- "Standard Practice for Fracture Strenght in Cleavage of Adhesives in Bonded Joints", ASTM Standard D3433, Annual Book of ASTM Standard Vol. 15.06 Adhesives, Philadelphia, Pa., (1980).

4- Maron, M.J., "Numerical Analysis, A Practical Approach", MacMillan Publishing co. ed., New York, (1982).

5- Doyon, J. et Hamel, F.G., "Influence de la température et de l'épaisseur dujoint de colle sur les énergies de rupture et d'arrêt d'une colle époxydique", Rapport IGM, (août 1987).

6- "RS/1 for VAX and Micro Vax, Release 2 Features", BBN Software Products Corporation, Cambridge Ma, (1985).

7- Fisher, R.A. et Yates, F., "Statistical Tables", Longman, 4th ed., (1963).

8- Dixon, W.J. et Massey, F.J., "Introduction to Statistical Analysis", McGraw-Hill, 3rd ed., (1969).

9- Van der Hoeven, W., "The Effects of Strain Rate and Temperature on the Fracture Behaviour of Three Structural Adhesives", National Aerospace Laboraty NLR, Amsterdam, Netherlands, NLR TR 83099 U, (1983).

10- Beyer, W., "CRC Standard Mathematical Tables", 26th ed., CRC Press, Boca Raton, Fl. (1981).

11- Middlebrooks, C., "VAX Fortran", Reston Computer Group Book, Prentice-Hall co. ed., Reston, Virginia, (1984).

12- Wang, S.S., "An Analysis of Tapered Double-Cantilever-Beam Fracture Toughness Test for Adhesive Joints, "Fracture Mechanics, ASTM STP 677, C.W. Smith Ed., ASTM (1979).

ANNEXE A

Généralités informatiques

Pour entrer en communication avec le système informatique, il faut taper 2 à la question service, car on a accès seulement au VAX-II/750 présentement. Le nom d'utilisateur ("username") est JEAND et le mot de passe est SALUTA.

Pour avoir ensuite accès au logiciel RS/1, on n'a qu'à taper RS1. En RS/1, lorsqu'on travaille avec des tableaux, on a intérêt à utiliser le terminal en mode VT100 (beaucoup plus rapide). Lorsqu'on veut avoir une meilleure vision des graphiques, on peut le mettre en mode VT240.

SET TERMINAL TO "VT100"

ou: SET TERMINAL TO "VT240"

Pour sortir du RS/1, comme du VAX, on doit taper LO ("logout").

Liste des programmes disponibles sur le VAX-II/750

ITER.FOR: Ce programme calcule la longueur de fissure d'une éprouvette CDCB linéaire pour une compliance donnée par itération en utilisant la méthode de Newton-Raphson. Pour l'utiliser, on entre les facteurs géométriques (a_o, h_o, etc.) aux lignes 7 à 11 et la compliance à la ligne 18. Présentement, dans ce programme, le nombre d'itérations est fixé à 3, on peut changer ce nombre à la ligne 22.

COMPLI.FOR: Ce programme calcule la compliance et sa dérivée d'une éprouvette CDCB linéaire lorsque la longueur de fissure a déjà été déterminée. Pour l'utiliser, on n'a qu'à entrer les facteurs géométriques aux lignes 8 à 17. Les résultats de la compliance et de sa dérivée sont inscrits aux colonnes 2 et 3 respectivement dans le fichier FORØ11.DAT. La colonne 1 indique la longueur de fissure. On peut également retrouver G/y^2 qui est contenu dans FORØ10.DAT.

Ces deux programmes combinés ensemble permettent de calculer l'énergie de rupture d'une éprouvette CDCB linéaire à partir de la compliance. Sur le PDP-11, ils ont été reprogrammés en BASIC dans le programme DCB (ou G1C) aux lignes 11300 à 11420. Le nombre d'itérations est indiqué à la ligne 11337.

GAUSS.FOR: Ce programme sert à intégrer numériquement par la méthode de Gauss à 6 points l'équation de la compliance à partir de la longueur de fissure. Les paramètres géométriques de l'éprouvette sont entrés aux lignes 11 à 19. Les résultats s'inscrivent automatiquement dans le fichier FORØØ9.DAT. Ce programme ne sert qu'à fin de comparaison, pour vérifier si la méthode analytique est valide.

Tableau 1

Compliance et sa dérivée pour une éprouvette CDCB linéaire

A0 = 48.64100000000000
H0 = 12.70000000000000
PENTE = 0.1314400000000000
E = 70500.00000000000
B = 25.40000000000000

a (mm)	C(a) (mm/N)	dC/da (1/N)
48.64100000000000	2.681047054224604 8E-04	1.583217577782673 4E-05
53.64100000000000	3.490388945893774E-04	1.651660203120251 6E-05
58.64100000000000	4.330410214398572 5E-04	1.706310506313637 6E-05
63.64100000000000	5.194752299869587 7E-04	1.749268448104146 5E-05
68.64100000000000	6.078032967744010 0E-04	1.782343353681323 4E-05
73.64100000000000	6.975707104333915 8E-04	1.807079173867286 0E-05
78.64100000000000	7.883941786194941 0E-04	1.824786150694257 5E-05
83.64100000000000	8.799507502425469 0E-04	1.836572897073945 0E-05
88.64100000000000	9.719684909523464 2E-04	1.843376167166530 0E-05
93.64100000000000	1.064218565379477 5E-03	1.845987269280465 5E-05
98.64100000000000	1.156508550629534 8E-03	1.845074910395931 2E-05
103.6410000000000	1.248676806181906 4E-03	1.841204657331379 8E-05
108.6410000000000	1.340587739403763 8E-03	1.834855365010308 5E-05
113.6410000000000	1.432127824941085 6E-03	1.826432969950765 4E-05
118.6410000000000	1.523202256066059 2E-03	1.816282037251341 9E-05
123.6410000000000	1.613732124652521 4E-03	1.804695413957522 8E-05
128.6410000000000	1.703652043003408 7E-03	1.791922297411898 2E-05
133.6410000000000	1.792908135055621 0E-03	1.778174982372829 9E-05
138.6410000000000	1.881456336621792 4E-03	1.763634509215803 8E-05
143.6410000000000	1.969260954507637 7E-03	1.748455398933119 0E-05
148.6410000000000	2.056293442822606 5E-03	1.732769629231218 8E-05
153.6410000000000	2.142531361834352 3E-03	1.716689979515450 5E-05
158.6410000000000	2.227957490536804 9E-03	1.700312850424820 9E-05
163.6410000000000	2.312559068911677 3E-03	1.683720645236914 0E-05
168.6410000000000	2.396327149838544 4E-03	1.666983785322788 6E-05
173.6410000000000	2.479256043895832 7E-03	1.650162419364951 0E-05
178.6410000000000	2.561342843016021 5E-03	1.633307875798281 3E-05
183.6410000000000	2.642587011213717 6E-03	1.616463899503226 4E-05
188.6410000000000	2.722990032477741 3E-03	1.599667706845817 1E-05
193.6410000000000	2.802555107475734 2E-03	1.582950887449600 5E-05
198.6410000000000	2.881286892017625 8E-03	1.566340176378002 7E-05
203.6410000000000	2.959191271307984 9E-03	1.549858116519885 3E-05
208.6410000000000	3.036275164924057 4E-03	1.533523627757488 8E-05
213.6410000000000	3.112546358216606 5E-03	1.517352496833360 3E-05
218.6410000000000	3.188013356469539 8E-03	1.501357799622482 2E-05
223.6410000000000	3.262685258692252 4E-03	1.485550265677142 7E-05
228.6410000000000	3.336571648372517 3E-03	1.469938593379477 3E-05
233.6410000000000	3.409682498901547 1E-03	1.454529722756444 9E-05
238.6410000000000	3.482028091708006 6E-03	1.439329071940495 0E-05
243.6410000000000	3.553618945413803 3E-03	1.424340742360427 4E-05

A0 = 48.64100000000000
H0 = 12.70000000000000
PENTE = 0.1314400000000000
E = 70500.00000000000
B = 25.40000000000000

a (mm)	C(a) (mm/N)	dC/da (1/N)
50.00000000000000	2.8975852911657720E-04	1.6033166073488964E-05
55.00000000000000	3.7159564977013244E-04	1.6677855376294232E-05
60.00000000000000	4.5631738577930134E-04	1.7190625698015451E-05
65.00000000000000	5.4331585459730564E-04	1.7591669228876710E-05
70.00000000000000	6.3207691434068202E-04	1.7898328692454568E-05
75.00000000000000	7.2216657967844028E-04	1.8125376129790652E-05
80.00000000000000	8.1321896826172098E-04	1.8285334842075295E-05
85.00000000000000	9.0492585605715909E-04	1.8388795694808705E-05
90.00000000000000	9.9702775167265432E-04	1.8444706272133715E-05
95.00000000000000	1.0893063309577782E-03	1.8460625291924922E-05
100.0000000000000	1.1815780544949683E-03	1.8442941572695282E-05
105.0000000000000	1.2736887960837507E-03	1.8397060020055662E-05
110.0000000000000	1.3655093263453412E-03	1.8327558351174098E-05
115.0000000000000	1.4569315151329204E-03	1.8238318551434594E-05
120.0000000000000	1.5478651360510503E-03	1.8132636866095015E-05
125.0000000000000	1.6382351744732204E-03	1.8013315739621144E-05
130.0000000000000	1.7279795563914490E-03	1.7882740665227330E-05
135.0000000000000	1.8170472291283747E-03	1.7742944465492768E-05
140.0000000000000	1.9053965365210935E-03	1.7595661122615486E-05
145.0000000000000	1.9929938408773740E-03	1.7442370924987512E-05
150.0000000000000	2.0798123520663771E-03	1.7284338396369343E-05
155.0000000000000	2.1658311307870448E-03	1.7122644221330024E-05
160.0000000000000	2.2510342385833391E-03	1.6958212170230046E-05
165.0000000000000	2.3354100117426262E-03	1.6791831852861804E-05
170.0000000000000	2.4189504399883695E-03	1.6624177986221184E-05
175.0000000000000	2.5016506340004804E-03	1.6455826743658703E-05
180.0000000000000	2.5835083683819482E-03	1.6287269655439100E-05
185.0000000000000	2.6645236888341490E-03	1.6118925450796592E-05
190.0000000000000	2.7446985740839136E-03	1.5951150165801803E-05
195.0000000000000	2.8240366445872279E-03	1.5784245787189428E-05
200.0000000000000	2.9025429112699478E-03	1.5618467657625876E-05
205.0000000000000	2.9802235585981284E-03	1.5454030831000224E-05
210.0000000000000	3.0570857571347842E-03	1.5291115535793353E-05
215.0000000000000	3.1331375014649207E-03	1.5129871879272652E-05
220.0000000000000	3.2083874699802548E-03	1.4970423904239113E-05
225.0000000000000	3.2828449035286113E-03	1.4812873092558129E-05
230.0000000000000	3.3565195003665518E-03	1.4657301395113977E-05
235.0000000000000	3.4294213252206137E-03	1.4503773855633128E-05
240.0000000000000	3.5015607305734684E-03	1.4352340885608560E-05
245.0000000000000	3.5729482885554327E-03	1.4203040238986115E-05

Tableau 2

ACAM 212R x 10C

19-AUG-87 11:1?

DIFFERENCE ENTRE A CALCULE ET MESURE

0 NUMERO D'ECHANT.	1 A calc. (mm)	2 A mes. (mm)	3 TEMP. (C)	4 EP.COLLE NOMINALE	5 EP.COLLE MESUREE	6 Gin (KJ/mA2)	7 AD=0 CO=1	8 Ac-Am (mm)	9 Ac - Am Corr(mm)	10 Ac Corr(mm)
1 EJ35	56.8	53.0	23	0.4	0.43	0.3632	1.00	3.8	1.046132	54.046132
2 EJ35	73.1	69.0	23	0.4	0.43	0.3966	1.00	4.1	1.161824	70.161824
3 EJ35	94.3	90.0	23	0.4	0.43	0.3367	1.00	4.3	1.122110	91.122110
4 EJ35	110.4	106.0	23	0.4	0.43	0.4090	1.00	4.4	1.040064	107.040064
5 EJ35	138.7	135.0	23	0.4	0.43	0.3354	1.00	3.7	0.020068	135.020068
6 EJ35	182.2	177.0	23	0.4	0.43	0.3264	1.00	5.2	1.028203	178.028203
7 EJ35	251.7	248.0	23	0.4	0.43	0.2744	1.00	3.7	-1.257651	246.742349
8 EJ36	39.2	37.0	50	0.1	0.22	0.4985	1.00	2.2	-0.696225	36.303775
9 EJ36	54.0	51.0	50	0.1	0.22	0.5545	1.00	3.0	-0.063572	50.936428
10 EJ36	63.4	62.0	50	0.1	0.22	0.5888	0.00	1.4	-1.769860	60.230140
11 EJ36	70.4	67.0	50	0.1	0.22	0.5984	0.00	3.4	0.150989	67.150989
12 EJ36	75.3	73.0	50	0.1	0.22	0.5948	0.00	2.3	-1.004416	71.995584
13 EJ36	96.2	95.0	50	0.1	0.22	0.6551	0.00	1.2	-2.340738	92.659262
14 EJ36	102.6	100.0	50	0.1	0.22	0.6152	0.00	2.6	-1.013104	98.986896
15 EJ36	118.9	116.0	50	0.1	0.22	0.6015	0.00	2.9	-0.897413	115.102587
16 EJ36	141.9	139.0	50	0.1	0.22	0.5019	0.00	2.9	-1.157479	137.842521
17 EJ37	42.0	39.0	-30	0.1	0.22	0.1797	1.00	3.0	1.560172	40.560172
18 EJ37	54.1	53.0	-30	0.1	0.22	0.2006	1.00	1.1	-0.476646	52.523354
19 EJ37	71.8	69.0	-30	0.1	0.22	0.2110	1.00	2.8	1.023215	70.023215
20 EJ37	89.6	88.0	-30	0.1	0.22	0.1934	1.00	1.6	-0.378054	87.621946
21 EJ37	109.4	108.0	-30	0.1	0.22	0.1937	1.00	1.4	-0.801937	107.198063
22 EJ37	132.4	131.0	-30	0.1	0.22	0.1947	1.00	1.4	-1.062004	129.937996
23 EJ37	170.5	167.5	-30	0.1	0.22	0.1782	1.00	3.0	0.107190	167.607190
24 EJ37	202.5	200.0	-30	0.1	0.22	0.1986	1.00	2.5	-0.754642	199.245358
25 EJ37	260.7	255.5	-30	0.1	0.22	0.1979	1.00	5.0	1.087276	256.587276
26 EJ38	36.7	35.0	24	0.1	0.28	0.3357	0.00	1.7	-0.730297	34.269703
27 EJ38	40.1	38.0	24	0.1	0.28	0.3459	0.00	2.1	-0.368741	37.631259
28 EJ38	41.9	41.0	24	0.1	0.28	0.3776	0.00	0.9	-1.589094	39.410906
29 EJ38	84.2	80.0	24	0.1	0.28	0.2658	0.00	4.2	1.232609	81.232609
30 EJ38	89.9	85.0	24	0.1	0.28	0.2814	0.00	4.9	1.868158	86.868158
31 EJ38	106.9	103.0	24	0.1	0.28	0.2972	0.00	3.9	0.675934	103.675934
32 EJ38	110.3	107.0	24	0.1	0.28	0.3145	0.00	3.3	0.037490	107.037490
33 EJ38	113.8	111.0	24	0.1	0.28	0.2963	0.00	2.9	-0.502086	110.497914
34 EJ38	121.3	117.0	24	0.1	0.28	0.3044	0.00	4.3	0.913110	117.913110
35 EJ38	125.6	121.0	24	0.1	0.28	0.2998	0.00	4.6	1.164489	122.164489
36 EJ38	137.6	134.0	24	0.1	0.28	0.2945	0.00	3.6	0.028802	134.028802
37 EJ38	142.9	139.0	24	0.1	0.28	0.2991	0.00	3.9	0.268873	139.268873
38 EJ38	148.1	146.0	24	0.1	0.28	0.2796	0.00	2.1	-1.589924	144.410076
39 EJ38	155.7	152.0	24	0.1	0.28	0.3012	0.00	3.7	-0.075860	151.924140
40 EJ38	164.2	160.0	24	0.1	0.28	0.3005	0.00	4.2	0.328029	160.328029
41 EJ38	169.5	166.0	24	0.1	0.28	0.2929	0.00	3.5	-0.431900	165.568100
42 EJ38	174.8	171.0	24	0.1	0.28	0.3106	0.00	3.8	-0.191828	170.808172
43 EJ38	243.9	239.0	24	0.1	0.28	0.3269	0.00	4.9	0.126841	239.126841
44 EJ38	264.1	258.0	24	0.1	0.28	0.3929	0.00	6.1	1.098434	259.098434
45 EJ40	36.3	32.0	80	0.1	0.23	0.8735	0.00	4.3	0.870985	32.870985
46 EJ40	42.2	38.0	80	0.1	0.23	0.8804	0.00	4.2	0.704173	38.704173
47 EJ40	46.6	43.0	80	0.1	0.23	0.9031	0.00	3.6	0.054421	43.054421
48 EJ40	59.4	57.0	80	0.1	0.23	0.6224	0.00	2.4	-1.270312	55.729688
49 EJ40	80.0	77.0	80	0.1	0.23	0.7464	0.00	3.0	-0.923241	76.076759
50 EJ40	106.4	101.0	80	0.1	0.23	0.5417	0.00	5.4	1.178247	102.178247
51 EJ40	142.7	136.0	80	0.1	0.23	0.4952	0.00	6.7	2.067794	138.067794
52 EJ40	175.8	169.0	80	0.1	0.23	0.4683	0.00	7.3	2.793524	170.793524

ACAM 212R x 10C

19-AUG-87 11 19

DIFFERENCE ENTRE A CALCULE ET MESURE

0 NUMERO D'ECHANT.	1 A calc (mm)	2 A mes. (mm)	3 TEMP (C)	4 EP.COLLE NOMINALE	5 EP.COLLE MESUREE	6 Gib (kJ/mA2)	7 AD=0 CO=1	8 Ac-Am (mm)	9 Ac - Am Corr(mm)	10 Ac Corr(mm)
53 EJ40	208.3	200.0	80	0.1	0.23	0.5252	0.00	8.3	2.926038	202.926038
54 EJ40	222.4	215.0	80	0.1	0.23	0.7634	0.00	7.4	1.866606	216.866606
55 EJ40	264.4	254.0	80	0.1	0.23	0.7945	0.00	10.4	4.391701	258.391701
56 EJ42	69.3	61.0	-30	2.8	3.02	0.4621	1.00	8.3	4.406756	65.406756
57 EJ42	96.2	90.0	-30	2.8	3.02	0.3172	1.00	6.2	2.002591	92.002591
58 EJ42	119.4	113.0	-30	2.8	3.02	0.3132	1.00	6.4	1.940262	114.940262
59 EJ42	157.0	154.0	-30	2.8	3.02	0.2516	1.00	3.0	-1.884890	152.115110
60 EJ42	185.9	180.0	-30	2.8	3.02	0.2955	1.00	5.9	0.688330	180.688330
61 EJ42	234.7	226.0	-30	2.8	3.02	0.2840	1.00	8.7	2.936536	228.936536
62 EJ43	159.2	155.0	24	2.8	2.84	0.5139	1.00	4.2	-1.576329	153.423671
63 EJ43	208.6	201.0	24	2.8	2.84	0.3424	1.00	5.6	-0.734907	200.265093
64 EJ44	78.0	72.0	51	2.8	2.82	0.2845	1.00	6.0	0.654920	72.654920
65 EJ44	141.0	136.0	51	2.8	2.82	0.2731	1.00	5.0	-1.057437	134.942563
66 EJ44	242.0	235.0	51	2.8	2.82	0.2788	1.00	7.0	-0.199469	234.800531
67 EJ45	53.6	48.0	80	2.8	2.88	0.6607	0.00	5.6	-0.054562	47.945438
68 EJ45	61.4	55.0	80	2.8	2.88	1.1646	0.00	6.4	0.657242	55.657242
69 EJ45	76.8	73.0	80	2.8	2.88	0.6902	0.00	3.8	-2.116890	70.883110
70 EJ45	87.2	82.0	80	2.8	2.88	0.6885	0.00	5.2	-0.834485	81.165515
71 EJ45	104.1	97.0	80	2.8	2.88	0.5727	0.00	7.1	0.874422	97.874422
72 EJ45	135.3	128.0	80	2.8	2.88	0.5845	0.00	7.3	0.721636	128.721636
73 EJ45	146.4	139.5	80	2.8	2.88	0.7542	0.00	6.9	0.196125	139.696125
74 EJ45	165.8	160.0	80	2.8	2.88	0.9952	1.00	5.8	-1.123235	158.876765
75 EJ45	253.7	246.0	80	2.8	2.88	1.0873	1.00	7.7	-0.217143	245.782857
76 EJ46	35.5	34.0	50	0.4	0.46	0.6780	0.00	1.5	-1.538222	32.461778
77 EJ46	46.3	42.0	50	0.4	0.46	0.4090	0.00	4.3	1.139660	43.139660
78 EJ46	48.5	45.0	50	0.4	0.46	0.5432	0.00	3.5	0.314784	45.314784
79 EJ46	54.7	51.0	50	0.4	0.46	0.5198	0.00	3.7	0.444679	51.444679
80 EJ46	70.5	67.0	50	0.4	0.46	0.5515	0.00	3.5	0.066025	67.066025
81 EJ46	78.6	74.0	50	0.4	0.46	0.4848	0.00	4.6	1.074436	75.074436
82 EJ46	83.6	80.0	50	0.4	0.46	0.4716	0.00	3.6	0.017900	80.017900
83 EJ46	91.6	87.0	50	0.4	0.46	0.4617	0.00	4.6	0.927442	87.927442
84 EJ46	99.1	94.0	50	0.4	0.46	0.4376	0.00	5.1	1.342637	95.342637
85 EJ46	106.8	101.0	50	0.4	0.46	0.4339	0.00	5.8	1.955571	102.955571
86 EJ46	112.3	107.0	50	0.4	0.46	0.4220	0.00	5.3	1.393381	108.393381
87 EJ46	132.4	126.0	50	0.4	0.46	0.3994	0.00	6.4	2.266106	128.266106
88 EJ46	139.3	133.0	50	0.4	0.46	0.4175	0.00	6.3	2.088086	135.088086
89 EJ46	157.0	150.0	50	0.4	0.46	0.4103	0.00	7.0	2.587947	152.587947
90 EJ46	164.5	157.0	50	0.4	0.46	0.4253	0.00	7.5	3.003143	160.003143
91 EJ46	173.6	167.0	50	0.4	0.46	0.4382	0.00	6.6	2.000247	169.000247
92 EJ46	247.3	241.0	50	0.4	0.46	0.4756	0.00	6.3	0.866902	241.866902
93 EJ49	51.3	47.0	50	1.0	1.14	0.7847	0.00	4.3	0.562261	47.562261
94 EJ49	57.0	53.0	50	1.0	1.14	0.6757	0.00	4.0	0.197810	53.197810
95 EJ49	62.3	57.0	50	1.0	1.14	0.6753	0.00	5.3	1.437882	58.437882
96 EJ49	65.9	62.0	50	1.0	1.14	0.6894	0.00	3.9	-0.002825	61.997175
97 EJ49	71.0	67.0	50	1.0	1.14	0.6329	0.00	4.0	0.039508	67.039508
98 EJ49	78.1	73.0	50	1.0	1.14	0.5833	0.00	5.1	1.059227	74.059227
99 EJ49	80.9	77.0	50	1.0	1.14	0.5803	0.00	3.9	-0.172433	76.827567
100 EJ49	84.5	81.0	50	1.0	1.14	0.5743	0.00	3.5	-0.613139	80.386861
101 EJ49	88.9	85.0	50	1.0	1.14	0.5781	0.00	3.9	-0.262891	84.737109
102 EJ49	96.4	92.5	50	1.0	1.14	0.6366	0.00	3.9	-0.347696	92.152304
103 EJ49	99.8	95.0	50	1.0	1.14	0.6250	0.00	4.8	0.513860	95.513860
104 EJ49	103.2	98.5	50	1.0	1.14	0.6527	0.00	4.7	0.375415	98.875415

DIFFERENCE ENTRE A CALCULE ET MESURE

0 NUMERO D'ECHANT	1 A calc. (mm)	2 A mes. (mm)	3 TEMP. (C)	4 EP.COLLE NOMINALE	5 EP.COLLE MESUREE	6 Gic (kJ/mA2)	7 AD=0 CO=1	8 Ac-Am (mm)	9 Ac - Am Corr(mm)	10 Ac Corr(mm)
105 EJ49	116.2	111.5	50	1.0	1.14	0.6413	0.00	4.7	0.228421	111.728421
106 EJ49	124.4	120.0	50	1.0	1.14	0.6391	0.00	4.4	-0.164299	119.835701
107 EJ49	130.8	125.0	50	1.0	1.14	0.6482	0.00	5.8	1.163335	126.163335
108 EJ49	136.2	131.0	50	1.0	1.14	0.6591	0.00	5.2	0.502276	131.502276
109 EJ49	142.0	136.5	50	1.0	1.14	0.6291	0.00	5.5	0.736694	137.236694
110 EJ49	148.3	142.0	50	1.0	1.14	0.5977	0.00	6.3	1.465458	143.465458
111 EJ49	156.5	150.0	50	1.0	1.14	0.6174	0.00	6.5	1.572738	151.572738
112 EJ49	168.1	163.5	50	1.0	1.14	0.5462	0.00	5.1	0.041574	163.541574
113 EJ49	222.5	217.0	50	1.0	1.14	0.6434	0.00	5.5	-0.173540	216.826460
114 EJ50	59.0	58.0	81	1.0	1.07	0.4581	0.00	1.0	-3.347808	54.652192
115 EJ50	71.5	70.0	81	1.0	1.07	0.7481	0.00	1.5	-2.989149	67.010851
116 EJ50	85.0	83.0	81	1.0	1.07	0.7099	0.00	2.0	-2.641797	80.358203
117 EJ50	98.4	95.0	81	1.0	1.07	0.6461	0.00	3.4	-1.393314	93.606686
118 EJ50	106.4	105.0	81	1.0	1.07	0.8019	0.00	1.4	-3.483772	101.516228
119 EJ50	121.2	117.0	81	1.0	1.07	0.7419	0.00	4.2	-0.851119	116.148881
120 EJ50	141.6	139.0	81	1.0	1.07	0.5884	0.00	2.6	-2.681787	136.318213
121 EJ50	167.0	164.0	81	1.0	1.07	0.5864	0.00	3.0	-2.568991	161.431009
122 EJ50	188.8	183.0	81	1.0	1.07	0.7074	0.00	5.8	-0.015489	182.984511
123 EJ50	210.4	205.0	81	1.0	1.07	0.8716	0.00	5.4	-0.659726	204.340274
124 EJ50	221.3	216.0	81	1.0	1.07	1.1712	0.75	5.3	-0.882975	215.117025
125 EJ50	278.8	274.0	81	1.0	1.07	0.7284	0.50	4.8	-2.033142	271.966858
126 EJ52	89.6	86.0	-30	2.3	2.34	0.2781	1.00	3.6	-0.001919	85.998081
127 EJ52	121.4	117.0	-30	2.3	2.34	0.2272	1.00	4.4	0.438510	117.438510
128 EJ52	152.5	145.0	-30	2.3	2.34	0.2537	1.00	7.5	3.186955	148.186955
129 EJ52	185.7	179.0	-30	2.3	2.34	0.2795	1.00	6.7	2.011454	181.011454
130 EJ52	239.8	236.0	-30	2.3	2.34	0.2573	1.00	3.8	-1.500268	234.499732
131 EJ52	260.8	252.0	-30	2.3	2.34	0.4120	1.00	6.8	1.262280	253.262280
132 EJ53	63.2	60.0	26	2.3	2.44	0.7735	0.00	3.2	-1.221645	58.778355
133 EJ53	80.3	76.0	26	2.3	2.44	0.3981	1.00	4.3	-0.314999	75.685001
134 EJ53	186.8	181.0	26	2.3	2.44	0.2466	1.00	5.8	-0.019221	180.980779
135 EJ53	267.3	264.0	26	2.3	2.44	0.3050	1.00	3.3	-3.429455	260.570545
136 EJ54	67.2	63.0	50	2.3	2.86	0.2674	1.00	4.2	-1.035000	61.965000
137 EJ54	122.3	118.0	50	2.3	2.81	0.2655	1.00	4.3	-1.519730	116.480270
138 EJ54	225.6	220.0	50	2.3	2.65	0.2448	1.00	5.6	-1.265214	218.734786
139 EJ56	71.7	66.0	80	2.3	2.59	0.4354	1.00	5.7	0.062910	66.062910
140 EJ56	125.7	118.0	80	2.3	2.59	0.3825	1.00	7.7	1.452318	119.452318
141 EJ56	217.7	209.0	80	2.3	2.59	0.3143	1.00	8.7	1.412051	210.412051
142 EJ57	39.8	35.0	26	0.4	0.53	0.4502	1.00	4.9	2.105956	37.105956
143 EJ57	75.1	71.0	26	0.4	0.53	0.1830	1.00	4.1	1.006810	72.006810
144 EJ57	105.5	101.0	26	0.4	0.53	0.2770	1.00	4.5	1.063070	102.063070
145 EJ57	164.2	159.0	26	0.4	0.53	0.2283	1.00	5.2	1.099334	160.099334
146 EJ57	226.2	220.0	26	0.4	0.53	0.2736	1.00	6.2	1.396284	221.396284
147 EJ57	287.8	285.0	26	0.4	0.53	0.3375	1.00	2.8	-2.698242	282.301758
148 EJ58	43.8	41.0	50	0.4	0.56	0.4914	1.00	2.8	-0.408669	40.591331
149 EJ58	57.7	55.0	50	0.4	0.56	0.4780	1.00	2.7	-0.665840	54.334160
150 EJ58	91.1	88.0	50	0.4	0.56	0.3386	1.00	3.1	-0.643502	87.356498
151 EJ58	129.8	126.0	50	0.4	0.56	0.3545	1.00	3.8	-0.381093	125.618907
152 EJ58	166.6	161.0	50	0.4	0.56	0.3909	1.00	5.6	1.002800	162.002800
153 EJ58	215.4	209.0	50	0.4	0.56	0.3906	1.00	6.4	1.251006	210.251006
154 EJ58	258.2	251.0	50	0.4	0.56	0.4764	1.00	7.2	1.567056	252.567056
155 EJ59	156.0	150.0	50	2.8	2.92	0.4006	1.00	6.0	-0.285042	149.714958
156 EJ26	63.8	60.0	90	0.3	0.35	0.6541	1.00	3.8	0.526040	60.526040

DIFFERENCE ENTRE A CALCULE ET MESURE

NUMERO D'ELEMENT	1 A calc (mm)	2 A mes (mm)	3 TEMP. (C)	4 EP COLLE NOMINALE	5 EP.COLLE MESUREE	6 Gib (J/m^2)	7 AD=0 CO=1	8 Ac-Am (mm)	9 Ac - Am Corr(mm)	10 Ac Corr(mm)
EJ26	87.2	85.0	50	0.3	0.25	0.5252	1.00	1.8	-1.748334	87.354666
EJ26	114.4	112.0	50	0.3	0.25	0.5137	1.00	2.4	-1.44e107	110.353392
EJ26	157.6	154.0	50	0.3	0.35	0.4284	1.00	3.6	-0.736530	153.263420
EJ26	183.4	179.0	50	0.3	0.35	0.6019	1.00	4.4	-0.226307	178.773693
EJ26	202.5	197.0	50	0.3	0.35	0.7115	1.00	5.5	-1.319661	195.680339
EJ27	65.5	63.0	-25	0.3	0.38	0.0557	1.00	2.5	0.578892	63.578892
EJ27	71.8	71.2	-25	0.3	0.39	0.3252	1.00	0.8	-1.192344	69.807656
EJ27	86.3	85.0	-25	0.3	0.38	0.2770	1.00	1.3	-0.856299	84.143701
EJ27	105.9	104.0	-25	0.3	0.33	0.2540	1.00	1.9	-0.477921	103.522079
EJ27	125.4	125.0	-25	0.3	0.39	0.2702	1.00	0.4	-2.193413	122.801587
EJ2	213.7	210.0	25	0.3	0.33	0.1121	1.00	3.7	-0.788580	209.211420
EJ4	99.2	96.0	0	0.3	0.40	0.0220	1.00	3.2	0.417500	96.417500
EJ4	126.5	123.0	0	0.3	0.40	0.2050	1.00	3.5	0.408812	123.408812
EJ4	177.9	172.5	0	0.3	0.40	0.1885	1.00	5.4	1.727e20	174.227620
EJ4	225.4	225.0	0	0.3	0.40	0.1953	1.00	0.4	-3.809475	221.190525
EJ5	138.5	135.0	0	0.3	0.40	0.1988	1.00	3.5	0.273125	135.273125
EJ5	185.1	181.0	0	0.3	0.40	0.2269	1.00	4.1	0.346207	181.346207
EJ5	256.5	251.0	0	0.3	0.40	0.2106	1.00	5.5	0.938870	251.938870
EJ7	122.1	119.0	-40	0.3	0.25	0.1821	1.00	3.1	0.840891	119.840891
EJ7	151.9	149.0	-40	0.3	0.35	0.1910	1.00	2.0	-0.585888	148.414112
EJ7	180.4	177.0	-40	0.3	0.35	0.2036	1.00	3.4	0.481678	177.481678
EJ7	222.8	219.0	-40	0.3	0.35	0.1852	1.00	3.8	0.402251	219.402251
EJ7	272.9	268.0	-40	0.3	0.35	0.1915	1.00	4.9	0.935758	268.935758
EJ8	89.7	86.0	50	0.3	0.32	0.0431	1.00	3.7	0.156162	86.156162
EJ8	193.7	188.0	50	0.3	0.32	0.2023	1.00	5.7	0.988208	188.988208
EJ12	109.3	108.0	-25	0.3	0.29	0.0099	1.00	1.3	-1.047428	106.952572
EJ12	143.6	143.0	-25	0.3	0.29	0.1710	1.00	0.6	-2.135267	140.864733
EJ12	184.9	183.0	-25	0.3	0.29	0.1720	1.00	1.9	-1.302256	181.697744
EJ12	226.0	225.0	-25	0.3	0.29	0.1800	1.00	3.0	-0.689599	224.310401
EJ12	286.3	283.0	-25	0.3	0.29	0.1813	1.00	3.3	-1.048912	281.951188
EJ28	119.1	113.5	80	0.3	0.41	0.3922	0.00	5.6	1.096770	114.596770
EJ28	146.2	141.5	80	0.3	0.41	0.4245	0.00	4.7	-0.109657	141.390343
EJ28	189.5	183.5	80	0.3	0.41	0.3980	0.00	5.0	-0.287954	183.212046
EJ28	243.0	235.5	80	0.3	0.41	0.4514	0.00	7.5	1.595801	237.095801
EJ29	72.7	71.0	-10	0.3	0.40	0.3630	1.00	1.7	-0.596851	70.403149
EJ29	96.5	95.0	-10	0.3	0.40	0.2616	1.00	1.5	-1.065963	93.934037
EJ29	121.7	120.0	-10	0.3	0.40	0.2616	1.00	1.7	-1.150706	118.849294
EJ29	158.8	158.0	-10	0.3	0.40	0.2492	1.00	0.8	-2.470405	155.529595
EJ29	217.4	214.0	-10	0.3	0.40	0.2422	1.00	3.4	-0.533010	213.466990
EJ29	253.0	254.0	-10	0.3	0.40	0.3067	1.00	0.0	-4.345855	249.653145
EJ30	69.1	67.0	19	0.3	0.40	0.3714	1.00	2.1	-0.921710	66.078290
EJ30	119.0	116.0	19	0.3	0.40	0.3705	1.00	3.0	-0.359797	115.640203
EJ30	149.3	146.0	19	0.3	0.40	0.3922	1.00	3.3	-0.402407	145.597593
EJ30	185.0	182.0	19	0.3	0.40	0.4003	1.00	3.0	-1.106075	183.893925
EJ30	230.3	228.0	19	0.3	0.40	0.4293	1.00	2.3	-2.318294	225.681706
EJ55	50.3	46.0	50	2.3	2.41	1.2000	0.00	4.3	-0.399219	45.600781
EJ55	72.1	67.0	50	2.3	2.41	0.4095	1.00	5.1	0.154283	67.154283
EJ55	149.9	145.0	50	2.3	2.41	0.1911	1.00	4.9	-0.925421	144.074579
EJ55	264.1	258.0	50	2.3	2.41	0.2433	1.00	6.1	-1.016709	256.983291
EJ60	82.1	78.5	25	1.5	1.65	0.2043	1.00	3.6	-0.411631	78.088369
EJ60	120.9	117.0	25	1.5	1.65	0.2533	1.00	3.9	-0.550353	116.449647
EJ60	158.0	153.5	25	1.5	1.65	0.2996	1.00	4.5	-0.369852	153.130148

DIFFERENCE ENTRE A CALCULE ET MESURE

NUMERO D'ELEMENT	1 A calc (mm)	2 A mes (mm)	3 TEMP. (C)	4 EP COLLE NOMINALE	5 EP.COLLE MESUREE	6 Gib (J/m^2)	7 AD=0 CO=1	8 Ac-Am (mm)	9 Ac - Am Corr(mm)	10 Ac Corr(mm)
EJ60	249.1	245.0	25	1.5	1.65	0.2123	1.00	4.1	-1.799942	243.200058
EJ61	165.7	160.0	51	1.5	1.70		1.00	5.7	0.221165	160.221165
EJ62	146.8	140.0	80	1.5	1.73	0.7859	0.00	6.8	0.972473	140.972473
EJ62	220.0	211.0	80	1.5	1.73	0.8356	0.00	9.0	2.344782	213.344782

Tableau 3

XXCOEFF 7R x 5C

Least Squares Regression Coefficients

0	1 Parameter	2 Coefficient	3 Standard Error	4 T Value	5 Sig. Level
1	CONSTANT	1.354431	0.267877	5.056164	0.0001
2	A calc.	0.011307	0.001535	7.365909	0.0001
3	TEMP.	0.018601	0.002745	6.774152	0.0001
4	EPAIS.	0.765974	0.107457	7.128162	0.0001
5					
6	Maximum VIF	0.035210			
7	Error SS	423.804603			

XXANALVAR 4R x 6C

Analysis of Variance Table

0	1 Source	2 Sum of Squares	3 df	4 Mean Square	5 F Value	6 Sig. Lev.
1	REGRESSION	323.541577	3	107.847192	52.930562	0.0001
2	ERROR	423.804603	208	2.037522		
3						
4	TOTAL	747.346179	211			

R-Squared = 0.432921
Adjusted R-Squared = 0.424742

Tableau 4

XXRESID 212R x 3C

Residuals Table

0	1 Observed Y	2 Predicted Y	3 Residual	0	1 Observed Y	2 Predicted Y	3 Residual
1	3.8	2.753868	1.046132	53	8.3	5.373962	2.926038
2	4.1	2.938176	1.161824	54	7.4	5.533394	1.866606
3	4.3	3.177890	1.122110	55	10.4	6.008299	4.391701
4	4.4	3.359936	1.040064	56	8.3	3.893244	4.406756
5	3.7	3.679932	0.020068	57	6.2	4.197409	2.002591
6	5.2	4.171797	1.028203	58	6.4	4.459738	1.940262
7	3.7	4.957651	-1.257651	59	3.0	4.884890	-1.884890
8	2.2	2.896225	-0.696225	60	5.9	5.211670	0.688330
9	3.0	3.063572	-0.063572	61	8.7	5.763464	2.936536
10	1.4	3.169860	-1.769860	62	4.2	5.776329	-1.576329
11	3.4	3.249011	0.150989	63	5.6	6.334907	-0.734907
12	2.3	3.304416	-1.004416	64	6.0	5.345080	0.654920
13	1.2	3.540738	-2.340738	65	5.0	6.057437	-1.057437
14	2.6	3.613104	-1.013104	66	7.0	7.199469	-0.199469
15	2.9	3.797413	-0.897413	67	5.6	5.654562	-0.054562
16	2.9	4.057479	-1.157479	68	6.4	5.742758	0.657242
17	3.0	1.439828	1.560172	69	3.8	5.916890	-2.116890
18	1.1	1.576646	-0.476646	70	5.2	6.034485	-0.834485
19	2.8	1.776785	1.023215	71	7.1	6.225578	0.874422
20	1.6	1.978054	-0.378054	72	7.3	6.578364	0.721636
21	1.4	2.201937	-0.801937	73	6.9	6.703875	0.196125
22	1.4	2.462004	-1.062004	74	5.8	6.923235	-1.123235
23	3.0	2.892810	0.107190	75	7.7	7.917143	-0.217143
24	2.5	3.254642	-0.754642	76	1.5	3.038222	-1.538222
25	5.0	3.912724	1.087276	77	4.3	3.160340	1.139660
26	1.7	2.430297	-0.730297	78	3.5	3.185216	0.314784
27	2.1	2.468741	-0.368741	79	3.7	3.255321	0.444679
28	0.9	2.489094	-1.589094	80	3.5	3.433975	0.066025
29	4.2	2.967391	1.232609	81	4.6	3.525564	1.074436
30	4.9	3.031842	1.868158	82	3.6	3.582100	0.017900
31	3.9	3.224066	0.675934	83	4.6	3.672558	0.927442
32	3.3	3.262510	0.037490	84	5.1	3.757363	1.342637
33	2.8	3.302086	-0.502086	85	4.8	3.844429	1.955571
34	4.3	3.386890	0.913110	86	5.3	3.906619	1.393381
35	4.6	3.435511	1.164489	87	6.4	4.133894	2.266106
36	3.6	3.571198	0.028802	88	6.3	4.211914	2.088086
37	3.9	3.631127	0.268873	89	7.0	4.412053	2.587947
38	2.1	3.689924	-1.589924	90	7.5	4.496857	3.003143
39	3.7	2.775860	-0.075860	91	6.6	4.599753	2.000247
40	4.2	3.871971	0.328029	92	6.3	5.433098	0.866902
41	3.5	3.931900	-0.431900	93	4.3	3.737739	0.562261
42	3.8	3.991828	-0.191828	94	4.0	3.802190	0.197810
43	4.9	4.773159	0.126841	95	5.3	3.862118	1.437882
44	6.1	5.081566	1.098434	96	3.9	3.902825	-0.002825
45	4.3	3.429115	0.870885	97	4.0	3.960492	0.039508
46	4.2	3.495827	0.704173	98	5.1	4.040773	1.059227
47	3.6	3.545579	0.054421	99	3.9	4.072433	-0.172433
48	2.4	3.690312	-1.290312	100	3.5	4.113139	-0.613139
49	3.0	3.923241	-0.923241	101	3.9	4.162891	-0.262891
50	5.4	4.221753	1.178247	102	3.9	4.247696	-0.347696
51	6.7	4.632206	2.067794	103	4.8	4.286140	0.513860
52	7.8	5.006476	2.793524	104	4.7	4.324585	0.375415

Residuals Table

	1 Observed Y	2 Predicted Y	3 Residual		1 Observed Y	2 Predicted Y	3 Residual
135	4.7	4.471579	0.228421	157	1.8	3.545334	-1.745334
136	4.4	4.564299	-0.164299	158	2.4	3.846107	-1.446107
137	5.8	4.636665	1.163335	159	3.6	4.334580	-0.734580
138	5.2	4.697724	0.502276	160	4.4	4.626307	-0.226307
139	5.5	4.763306	0.736694	161	3.5	4.819661	-1.319661
110	6.3	4.834542	1.465458	162	2.5	1.921108	0.578892
111	6.5	4.927262	1.572738	163	0.8	1.992344	-1.192344
112	5.1	5.058426	0.041574	164	1.3	2.156299	-0.856299
113	5.5	5.673540	-0.173540	165	1.9	2.377921	-0.477921
114	1.0	4.347808	-3.347808	166	0.4	2.598413	-2.198413
115	1.5	4.489149	-2.989149	167	3.7	4.488580	-0.788580
116	2.0	4.641797	-2.641797	168	3.2	2.782500	0.417500
117	3.4	4.793314	-1.393314	169	3.5	3.091188	0.408812
118	1.4	4.883772	-3.483772	170	5.4	3.672380	1.727620
119	4.2	5.051119	-0.851119	171	0.4	4.209475	-3.809475
120	2.6	5.281787	-2.681787	172	3.5	3.226875	0.273125
121	3.0	5.568991	-2.568991	173	4.1	3.753793	0.346207
122	5.8	5.815489	-0.015489	174	5.5	4.561130	0.938870
123	5.4	6.059726	-0.659726	175	3.1	2.259109	0.840891
124	5.3	6.182975	-0.882975	176	2.0	2.585888	-0.585888
125	4.8	6.833142	-2.033142	177	3.4	2.918322	0.481678
126	3.6	3.601919	-0.001919	178	3.8	3.397749	0.402251
127	4.4	3.961490	0.438510	179	4.9	3.964242	0.935758
128	7.5	4.313145	3.186855	180	3.7	3.543838	0.156162
129	6.7	4.688546	2.011454	181	5.7	4.719792	0.980208
130	3.8	5.300268	-1.500268	182	1.3	2.347428	-1.047428
131	6.8	5.537730	1.262230	183	0.6	2.735267	-2.135267
132	3.2	4.421645	-1.221645	184	1.9	3.202256	-1.302256
133	4.3	4.614999	-0.314999	185	3.0	3.689599	-0.689599
134	5.8	5.819221	-0.019221	186	3.3	4.348812	-1.048812
135	3.3	6.729455	-3.429455	187	5.6	4.583230	1.096770
136	4.2	5.235003	-1.035000	188	4.7	4.809657	-0.109657
137	4.3	5.819730	-1.519730	189	5.0	5.287954	-0.287954
138	5.6	6.865214	-1.265214	190	7.5	5.904199	1.595801
139	5.7	5.637090	0.062910	191	1.7	2.296851	-0.596851
140	7.7	6.247682	1.452318	192	1.5	2.565963	-1.065963
141	8.7	7.287949	1.412051	193	1.7	2.850906	-1.150906
142	4.8	2.694044	2.105956	194	0.9	3.270405	-2.470405
143	4.1	3.093190	1.006810	195	3.4	3.933010	-0.533010
144	4.5	3.436930	1.063070	196	0.0	4.346955	-4.346955
145	5.2	4.100666	1.099334	197	2.1	3.021710	-0.921710
146	6.2	4.801716	1.398284	198	3.0	3.359797	-0.359797
147	2.8	5.498242	-2.698242	199	3.3	3.702407	-0.402407
148	2.8	3.208659	-0.408659	200	3.0	4.106075	-1.106075
149	2.7	3.365840	-0.665840	201	2.3	4.618294	-2.318294
150	3.1	3.743502	-0.643502	202	4.3	4.699219	-0.399219
151	3.8	4.181093	-0.381093	203	5.1	4.945717	0.154283
152	5.6	4.597200	1.002800	204	4.9	5.825421	-0.925421
153	6.4	5.148994	1.251006	205	6.1	7.116709	-1.016709
154	7.2	5.632944	1.567056	206	3.6	4.011631	-0.411631
155	6.0	6.285042	-0.285042	207	3.9	4.450353	-0.550353
156	3.8	3.273960	0.526040	208	4.5	4.869852	-0.369852

.XPRESID 212R x 3C

Residuals Table

	1 Observed Y	2 Predicted Y	3 Residual
209	4.1	5.899942	-1.799942
210	5.7	5.478835	0.221165
211	6.8	5.827527	0.972473
212	9.0	6.655218	2.344782

Tableau 5

. AT 5R x 2C

STATISTIQUES CONCERNANT LE FACTEUR DE CORRECTION

C Ac - Am	1 AVANT CORRECTION	2 APRES CORRECTION
1 MOYENNE	4.245755	-5.8077e-16
2 VARIANCE	3.541925	2.008553
3 ECART-TYPE	1.882000	1.417234
4 MEDIANE	4.100000	0.007900
5 ECART	10.400000	8.753611

D INTERVALLE 1

1 +ou- 0.5 mm	29.25%
2 +ou- 1.0 mm	50.94%
3 +ou- 1.5 mm	75.47%
4 +ou- 2.0 mm	83.96%
5 +ou- 2.5 mm	90.57%
6 +ou- 3.0 mm	94.81%
7 +ou- 3.5 mm	96.70%
8 +ou- 4.4 mm	100.0%

PROFILS D'EPROUVETTES CDCB ET LINEAIRE

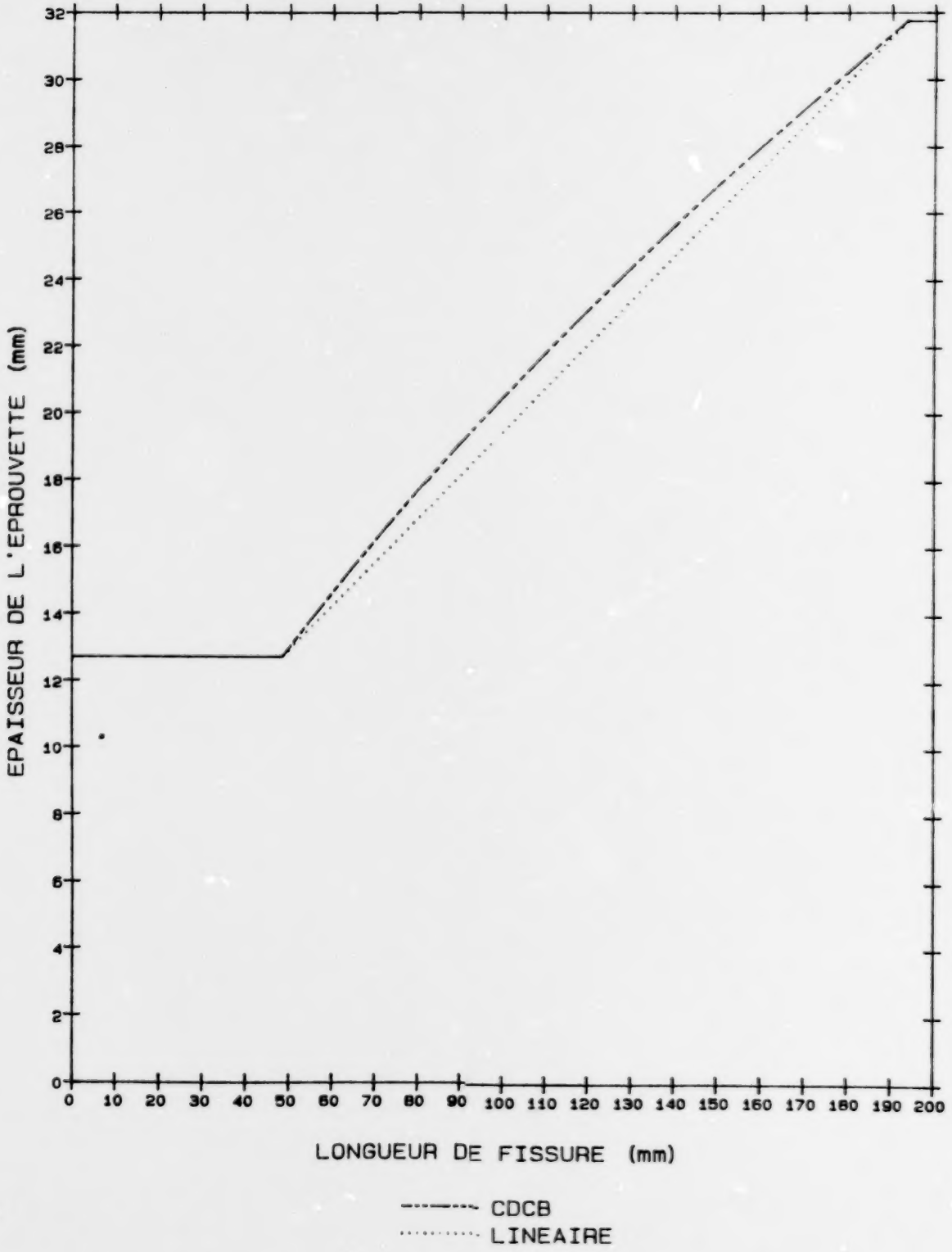


Figure 1

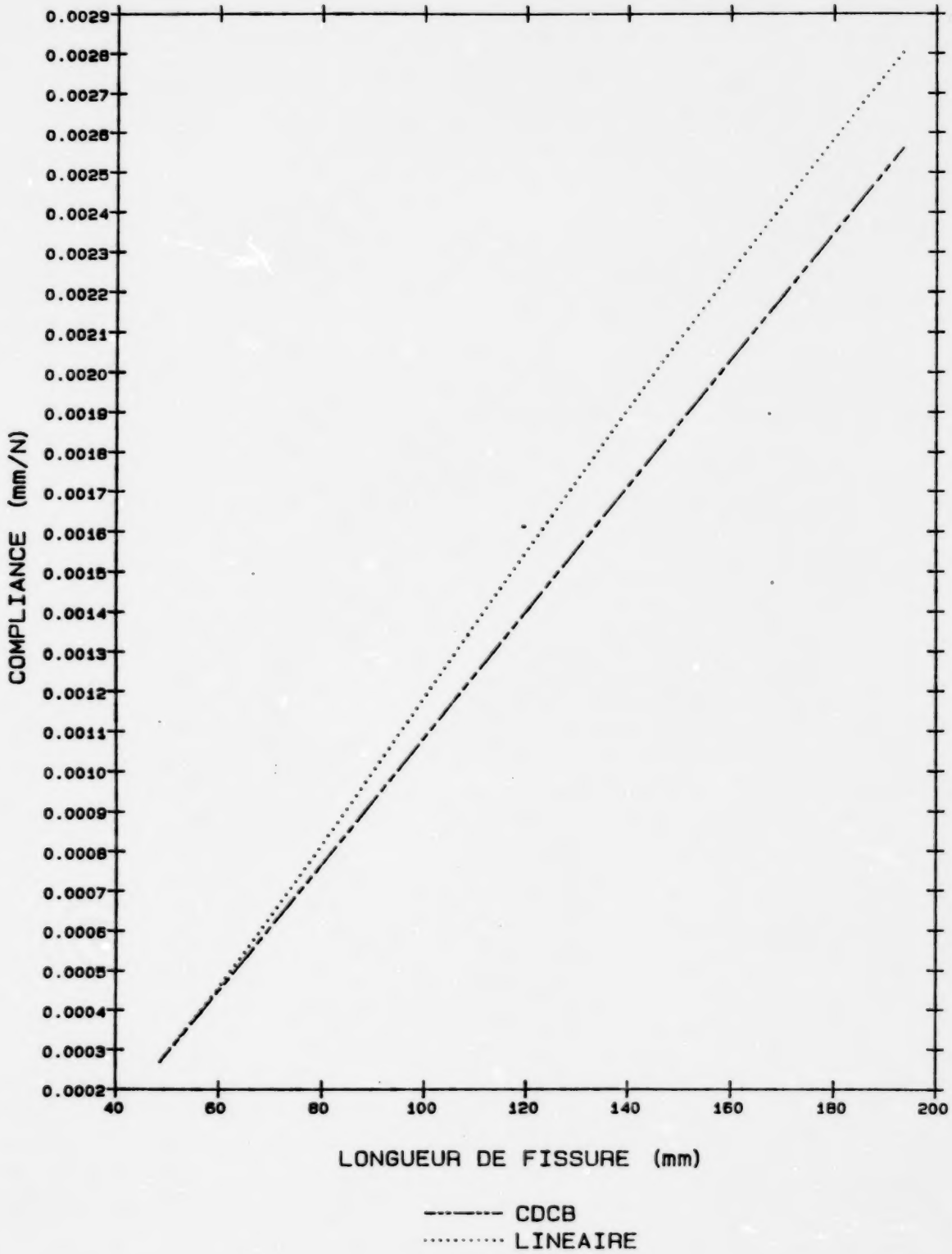

COMPLIANCES D'EPROUVETTES CDCB ET LINEAIRE
COMPLIANCE (mm/N)
0.0029
0.0028
0.0027
0.0026
0.0025
0.0024
0.0023
0.0022
0.0021
0.0020
0.0019
0.0018
0.0017
0.0016
0.0015
0.0014
0.0013
0.0012
0.0011
0.0010
0.0009
0.0008
0.0007
0.0006
0.0005
0.0004
0.0003
0.0002
40
60
80
100
120
140
160
180
200
LONGUEUR DE FISSURE (mm)
CDCB
LINEAIRE

Figure 2

DERIVEES DE LA COMPLIANCE D'EPROUVETTES
CDCB ET LINEAIRE

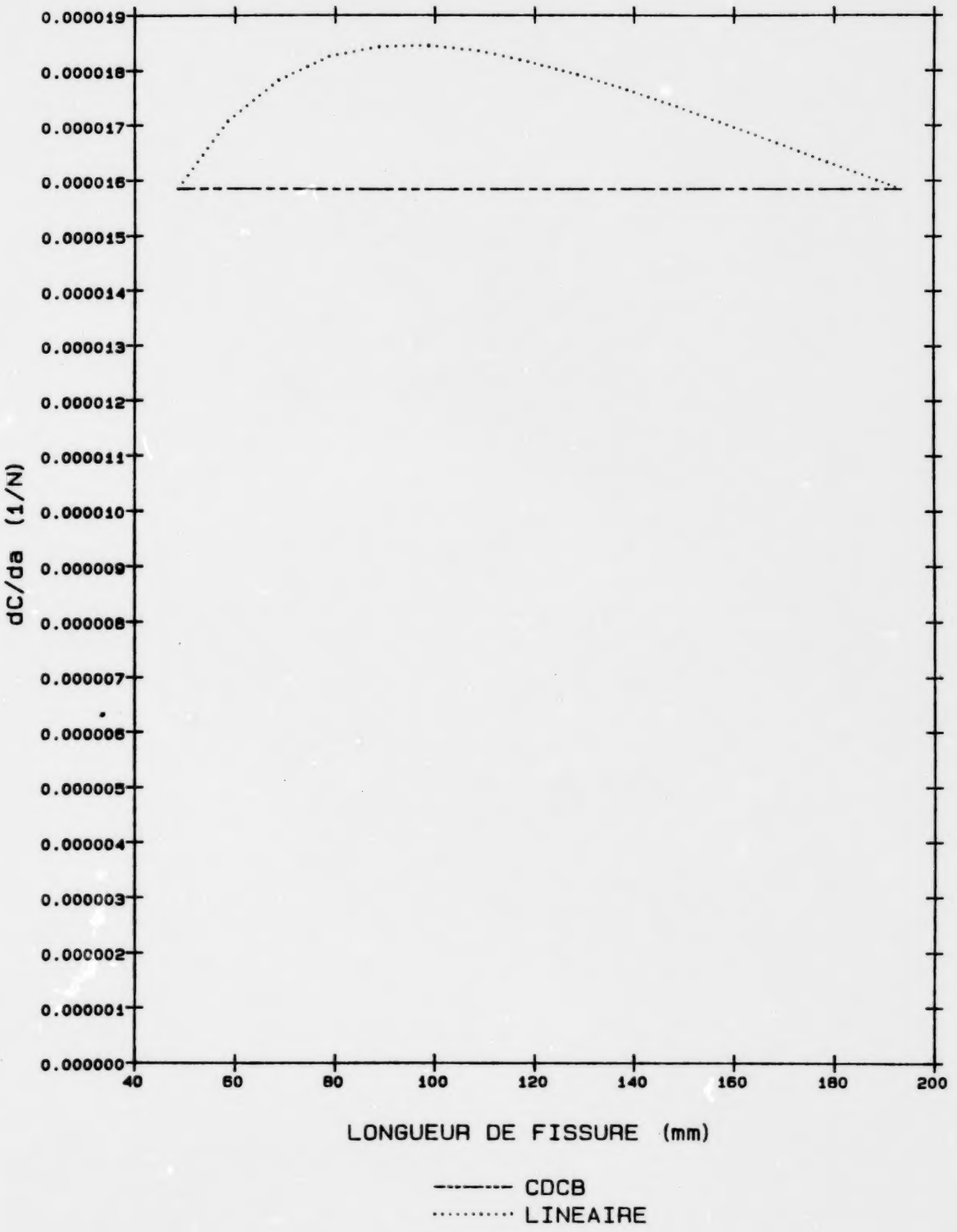


Figure 3

ENERGIES DE RUPTURE D'EPROUVETTES DCB, CDCB ET CDCB LINEAIRE EN FONCTION DE LA LONGUEUR DE FISSURE POUR UNE CHARGE CRITIQUE DE 500 N

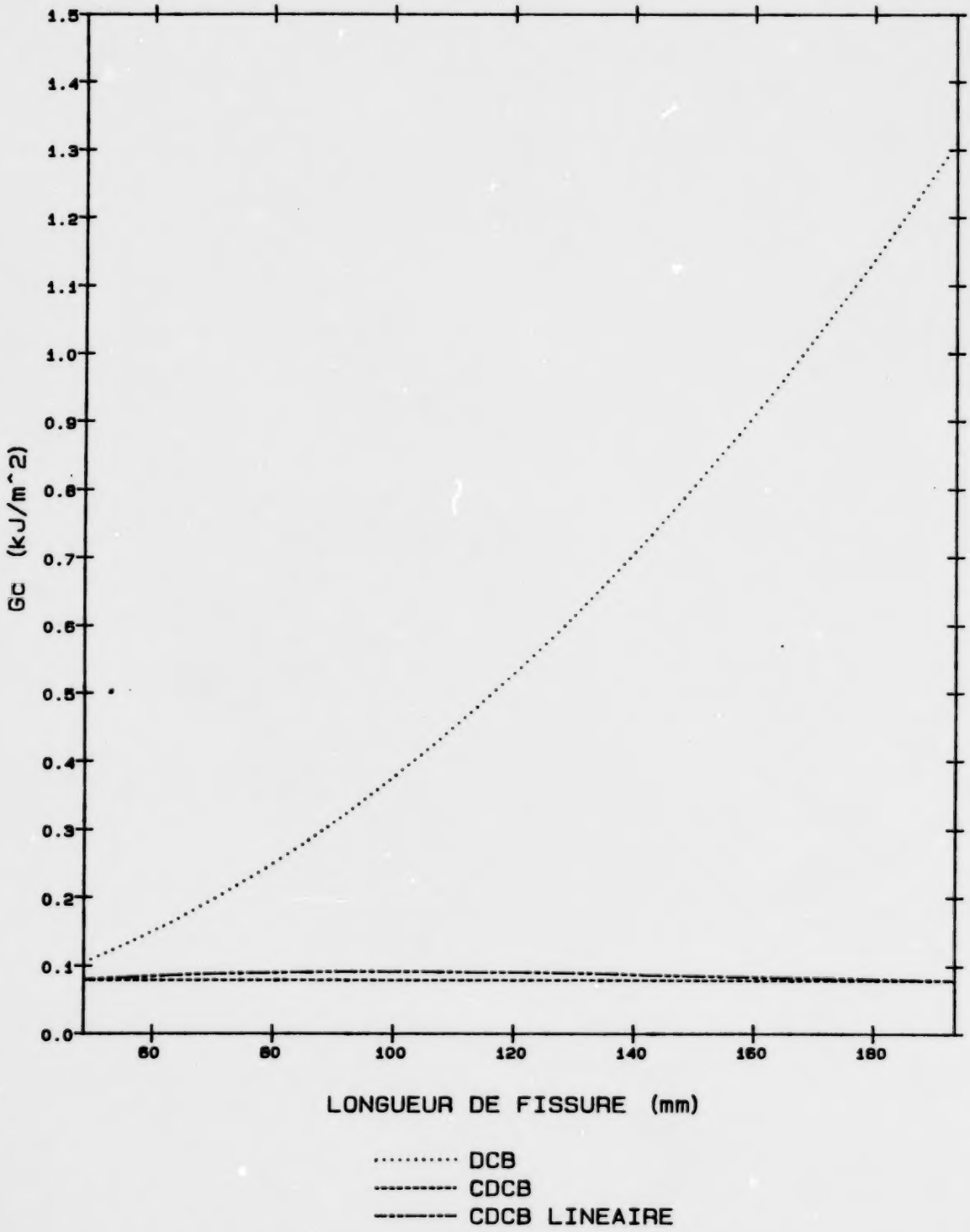


Figure 4

FREQUENCE DE LA DIFFERENCE ENTRE LES LONGUEURS
DE FISSURE CALCULEE ET MESUREE
APRES CORRECTION

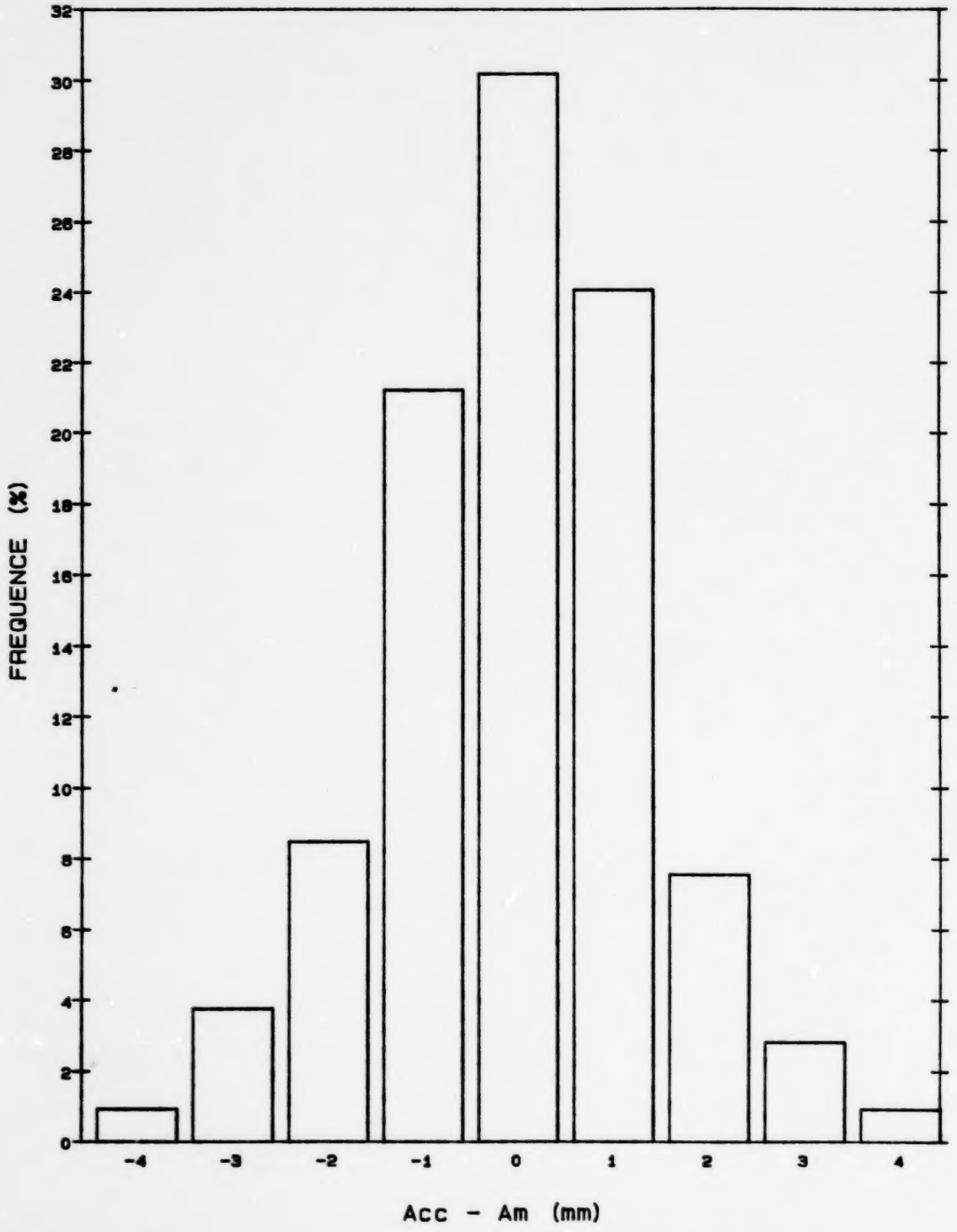


Figure 5

DIFFERENCE ENTRE A calcule ET A mesure EN FONCTION
DE A calcule POUR UNE EPAISSEUR NOMINALE DE 0.1 mm
ET POUR UNE RUPTURE COHESIVE

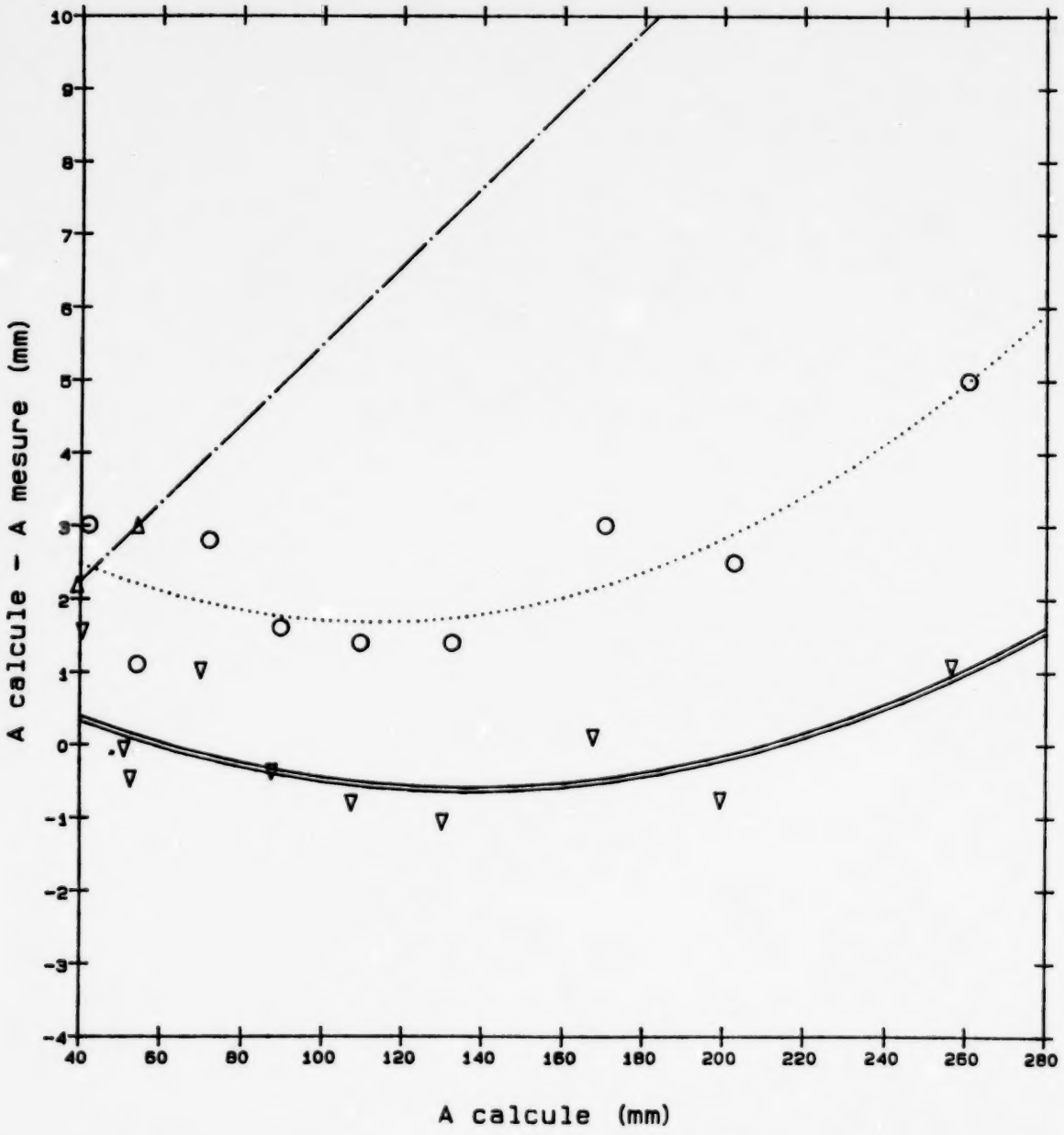
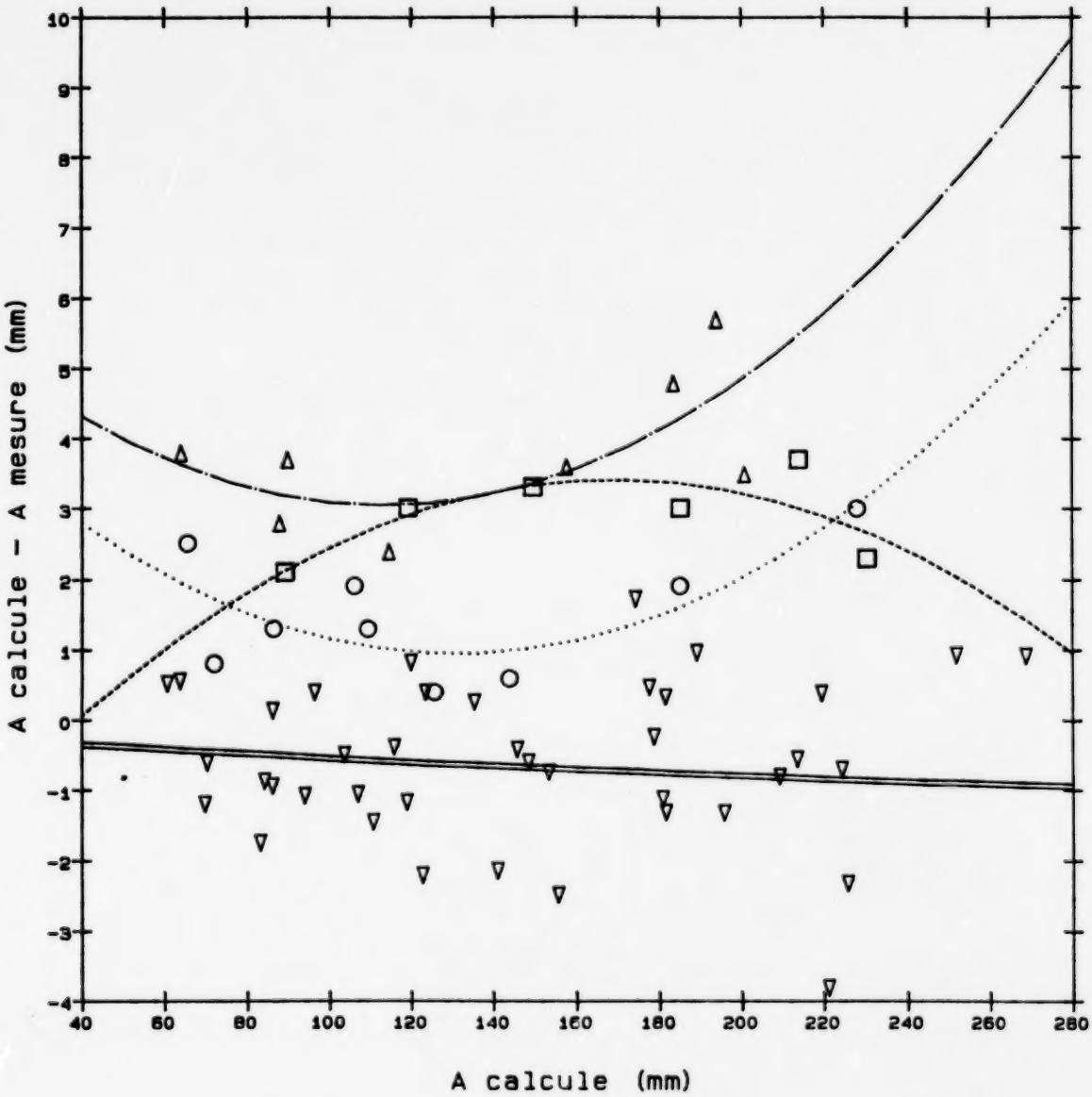


Figure 6

DIFFERENCE ENTRE A calcule ET A mesure EN FONCTION
DE A calcule POUR UNE EPAISSEUR NOMINALE DE 0.3 mm
ET POUR UNE RUPTURE COHESIVE



○ ~-30 C
□ ~ 25 C
△ ~ 50 C
..... APPROXIMATION DU 2ieme DEGRE DE -30 C
---------- APPROXIMATION DU 2ieme DEGRE DE 25 C
——— APPROXIMATION DU 2ieme DEGRE DE 50 C
▽ CORRIGE
═══ APPROXIMATION DU 2ieme DEGRE APRES CORRECT.

Figure 7

DIFFERENCE ENTRE A calcule ET A mesure EN FONCTION
DE A calcule POUR UNE EPAISSEUR NOMINALE DE 0.4 mm
ET POUR UNE RUPTURE COHESIVE

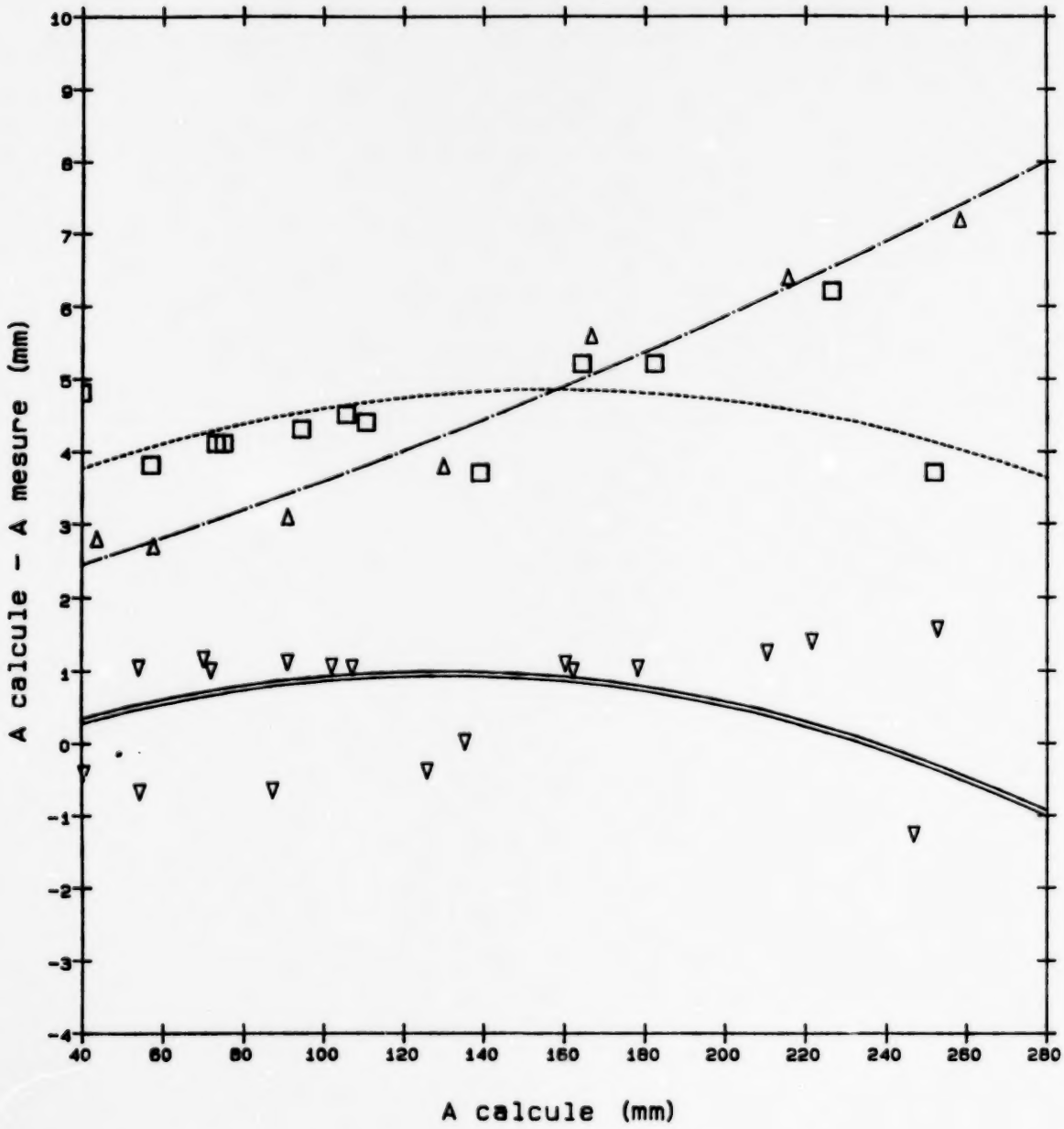
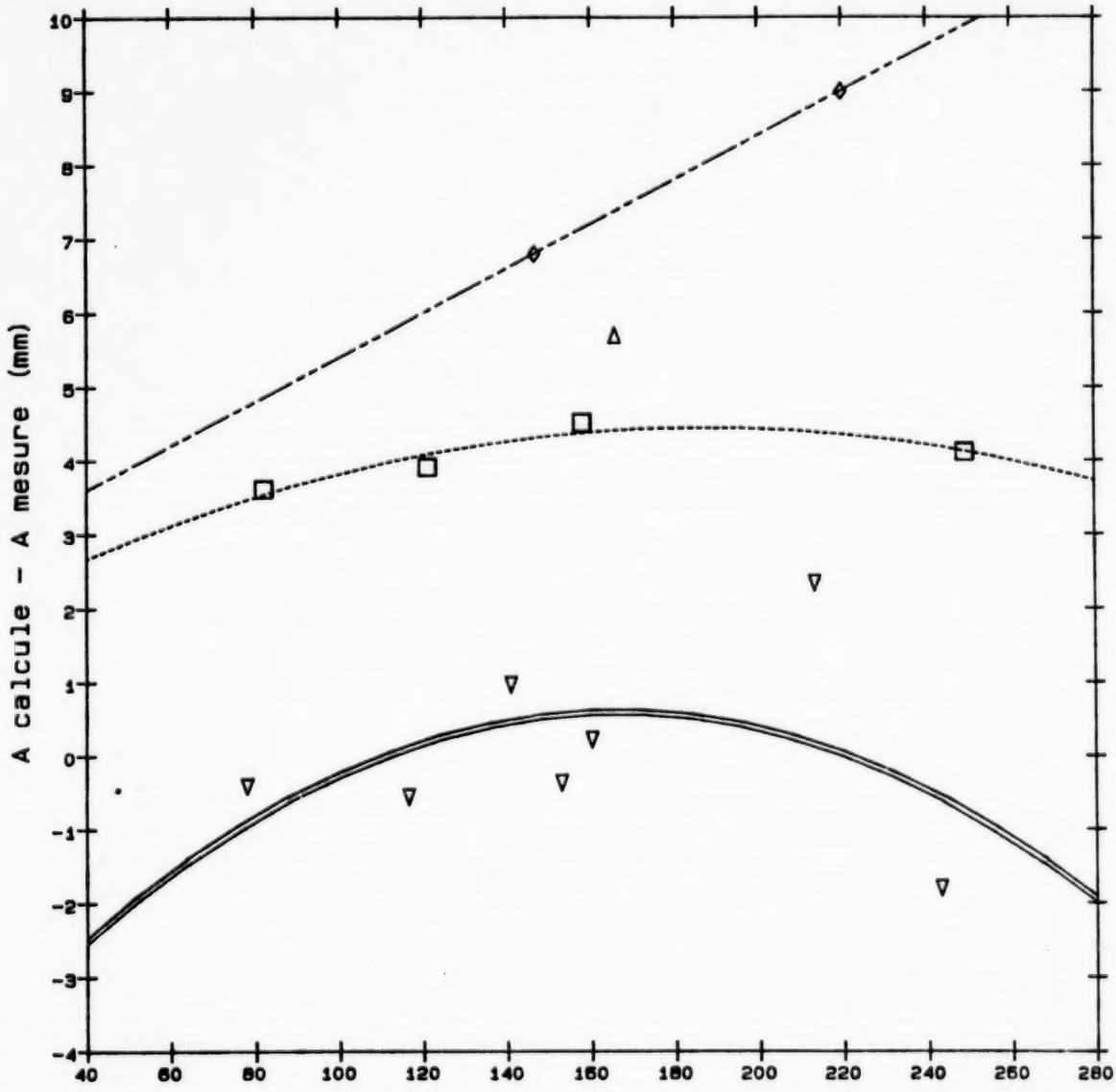


Figure 8

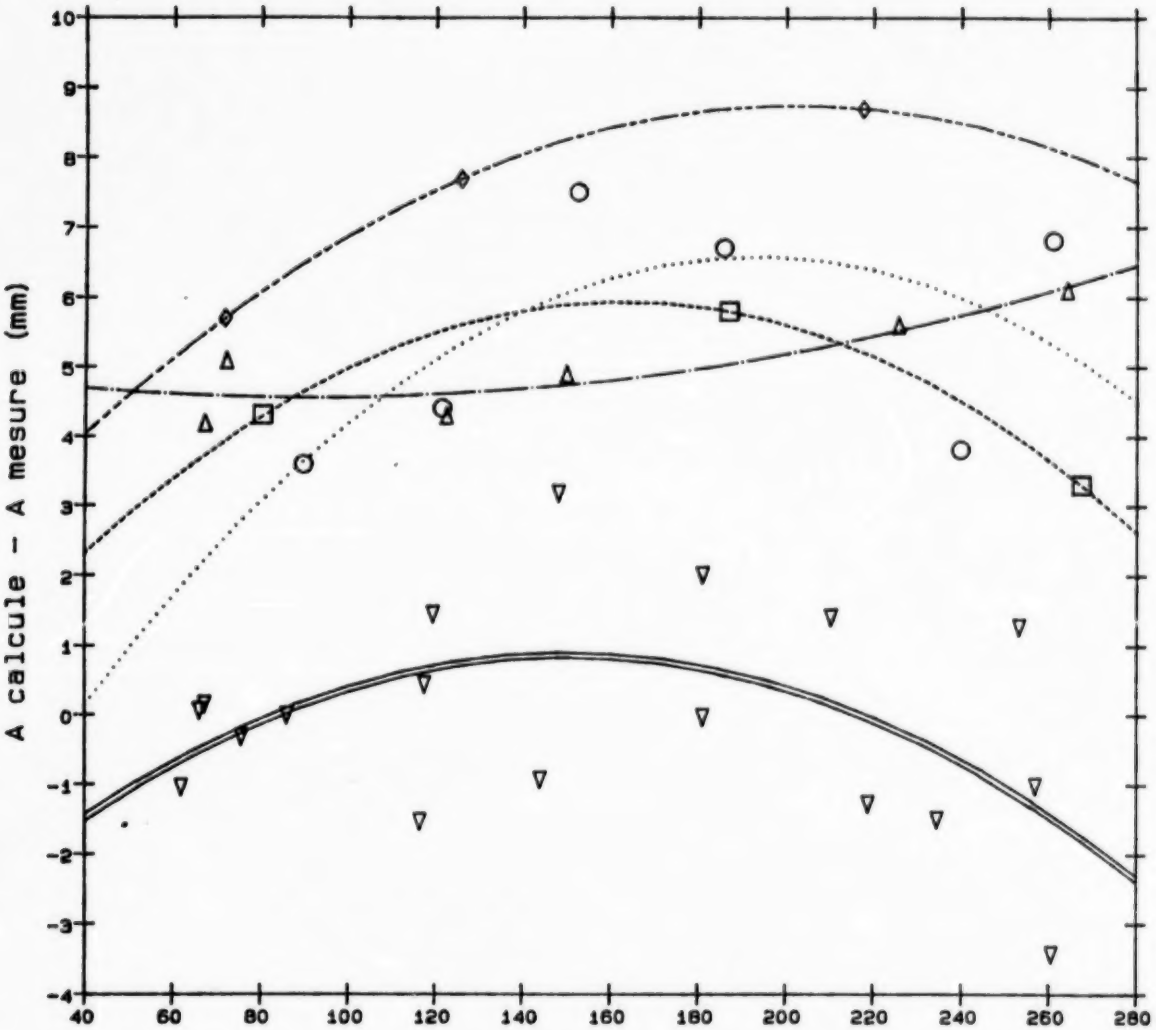
DIFFERENCE ENTRE A calcule ET A mesure EN FONCTION
DE A calcule POUR UNE EPAISSEUR NOMINALE DE 1.5 mm
ET POUR DES RUPTURES ADHESIVE ET COHESIVE



□ ~ 25 C COHESIF
△ ~ 50 C COHESIF
◇ ~ 80 C ADHESIF
---------- APPROXIMATION DU 2ieme DEGRE DE 25 C
---------- APPROXIMATION DU 1ier DEGRE DE 80 C
▽ CORRIGE
═══ APPROXIMATION DU 2ieme DEGRE APRES CORRECT.

Figure 9

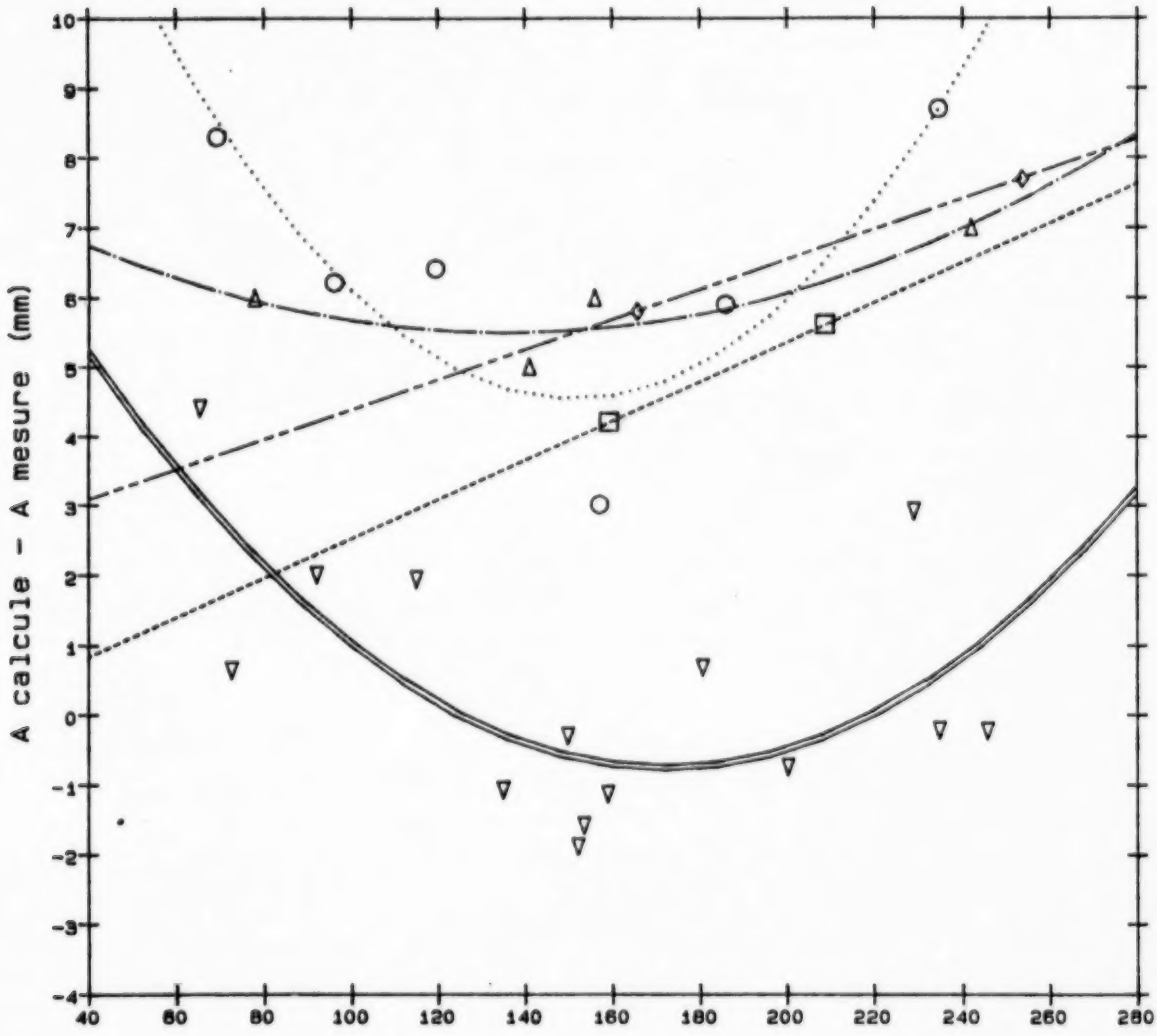
DIFFERENCE ENTRE A calcule ET A mesure EN FONCTION
DE A calcule POUR UNE EPAISSEUR NOMINALE DE 2.3 mm
ET POUR UNE RUPTURE COHESIVE



○ ~-30 C
□ ~ 25 C
△ ~ 50 C
◇ ~ 80 C
····· APPROXIMATION DU 2ieme DEGRE DE -30 C
---------- APPROXIMATION DU 2ieme DEGRE DE 25 C
——— APPROXIMATION DU 2ieme DEGRE DE 50 C
---·--- APPROXIMATION DU 2ieme DEGRE DE 80 C
▽ CORRIGE
═══ APPROXIMATION DU 2ieme DEGRE APRES CORRECT.

Figure 10

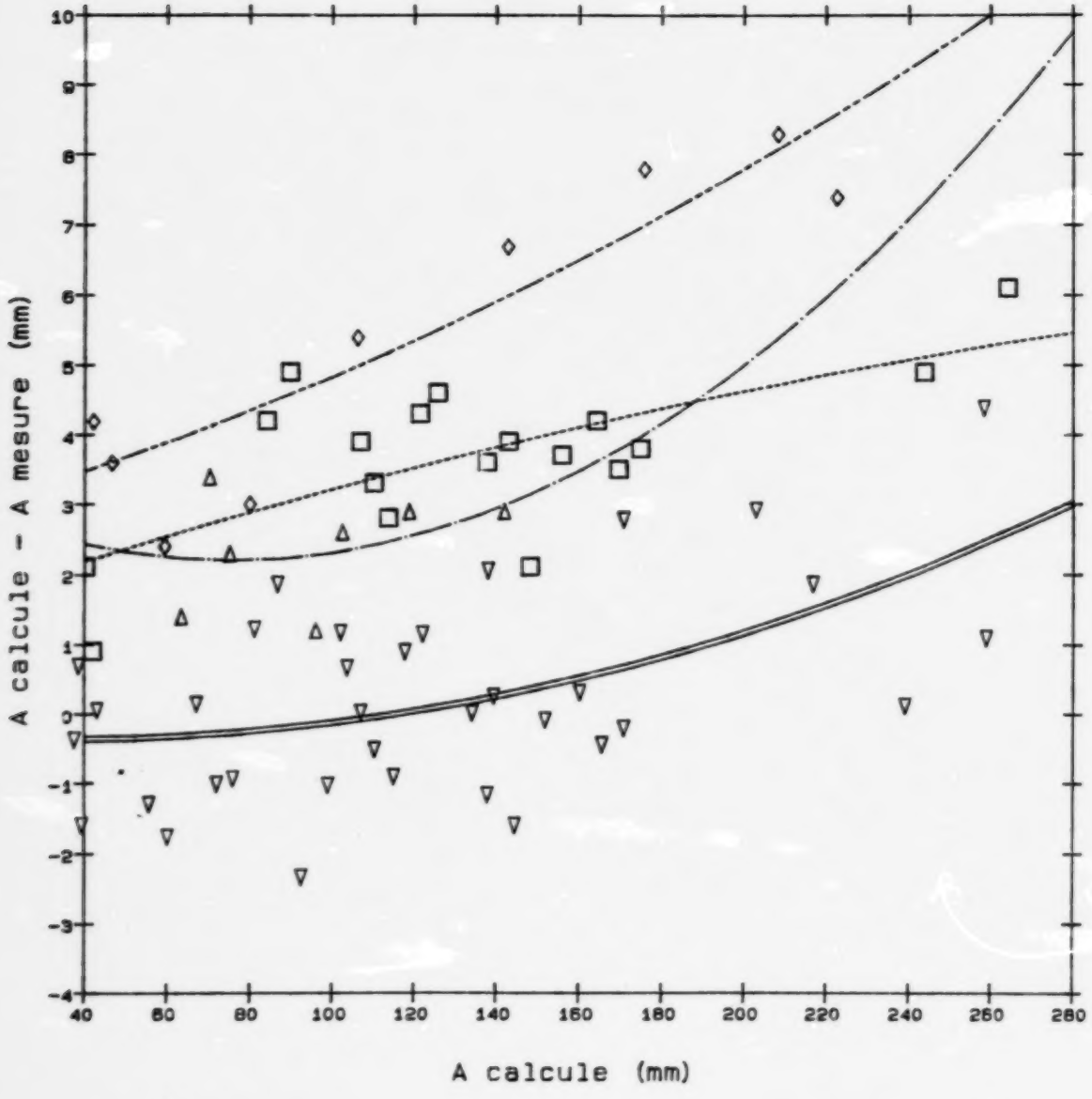
DIFFERENCE ENTRE A calcule ET A mesure EN FONCTION
DE A calcule POUR UNE EPAISSEUR NOMINALE DE 2.8 mm
ET POUR UNE RUPTURE COHESIVE



○ ~-30 C
□ ~ 25 C
△ ~ 50 C
◇ ~ 80 C
..... APPROXIMATION DU 2ieme DEGRE DE -30 C
---------- APPROXIMATION DU 1ier DEGRE DE 25 C
—·—·— APPROXIMATION DU 2ieme DEGRE DE 50 C
-------- APPROXIMATION DU 1ier DEGRE DE 80 C
▽ CORRIGE
═══ APPROXIMATION DU 2ieme DEGRE APRES CORRECT.

Figure 11

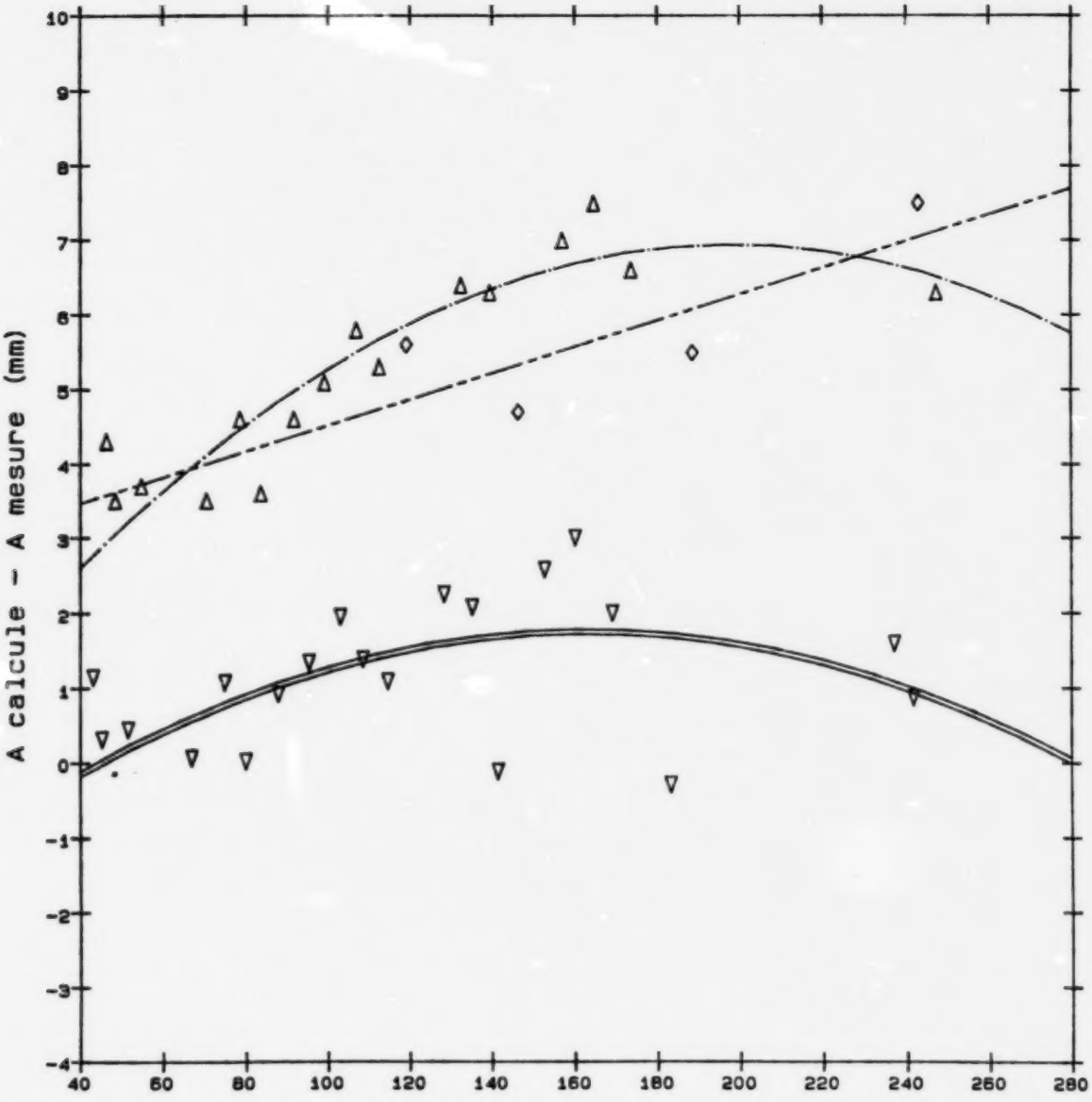
DIFFERENCE ENTRE A calcule ET A mesure EN FONCTION
DE A calcule POUR UNE EPAISSEUR NOMINALE DE 0.1 mm
ET POUR UNE RUPTURE ADHESIVE



□ ~ 25 C
△ ~ 50 C
◇ ~ 80 C
--------- APPROXIMATION DU 2ieme DEGRE DE 25 C
———— APPROXIMATION DU 2ieme DEGRE DE 50 C
- - - - - - - APPROXIMATION DU 2ieme DEGRE DE 80 C
▽ CORRIGE
═══ APPROXIMATION DU 2ieme DEGRE APRES CORRECT.

Figure 12

DIFFERENCE ENTRE A calcule ET A mesure EN FONCTION
DE A calcule POUR UNE EPAISSEUR NOMINALE DE 0.3 ET 0.4 mm
ET POUR UNE RUPTURE ADHESIVE



Δ ~ 50 C 0.4 mm
◊ ~ 80 C 0.3 mm
——— APPROXIMATION DU 2ieme DEGRE DE 50 C. .4 mm
- - - - - APPROXIMATION DU 2ieme DEGRE DE 80 C. .3 mm
∇ CORRIGE
═══ APPROXIMATION DU 2ieme DEGRE APRES CORRECT.

Fig. n° 12

DIFFERENCE ENTRE A calcule ET A mesure EN FONCTION
DE A calcule POUR UNE EPAISSEUR NOMINALE DE 1.0 mm
ET POUR UNE RUPTURE ADHESIVE

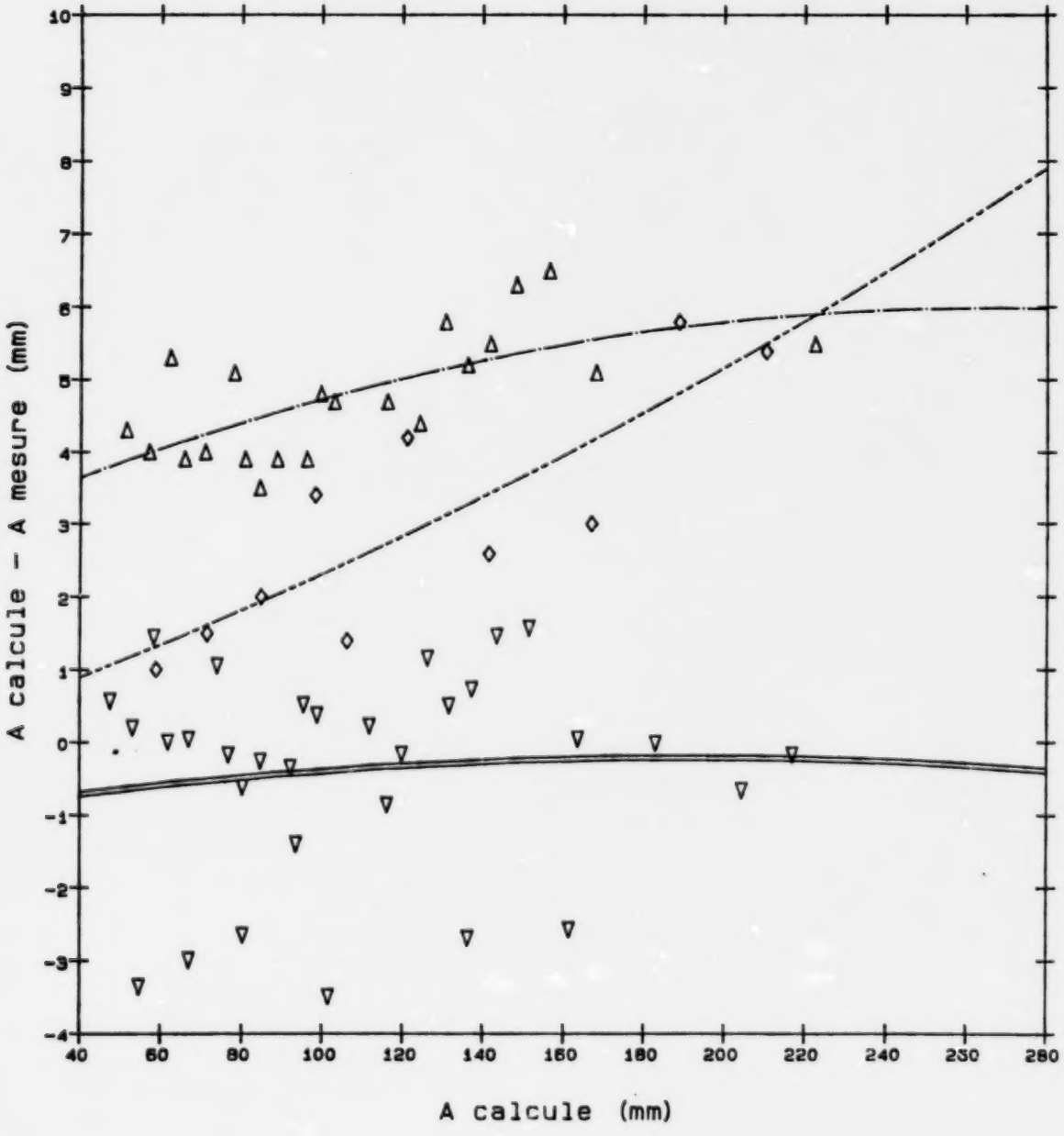
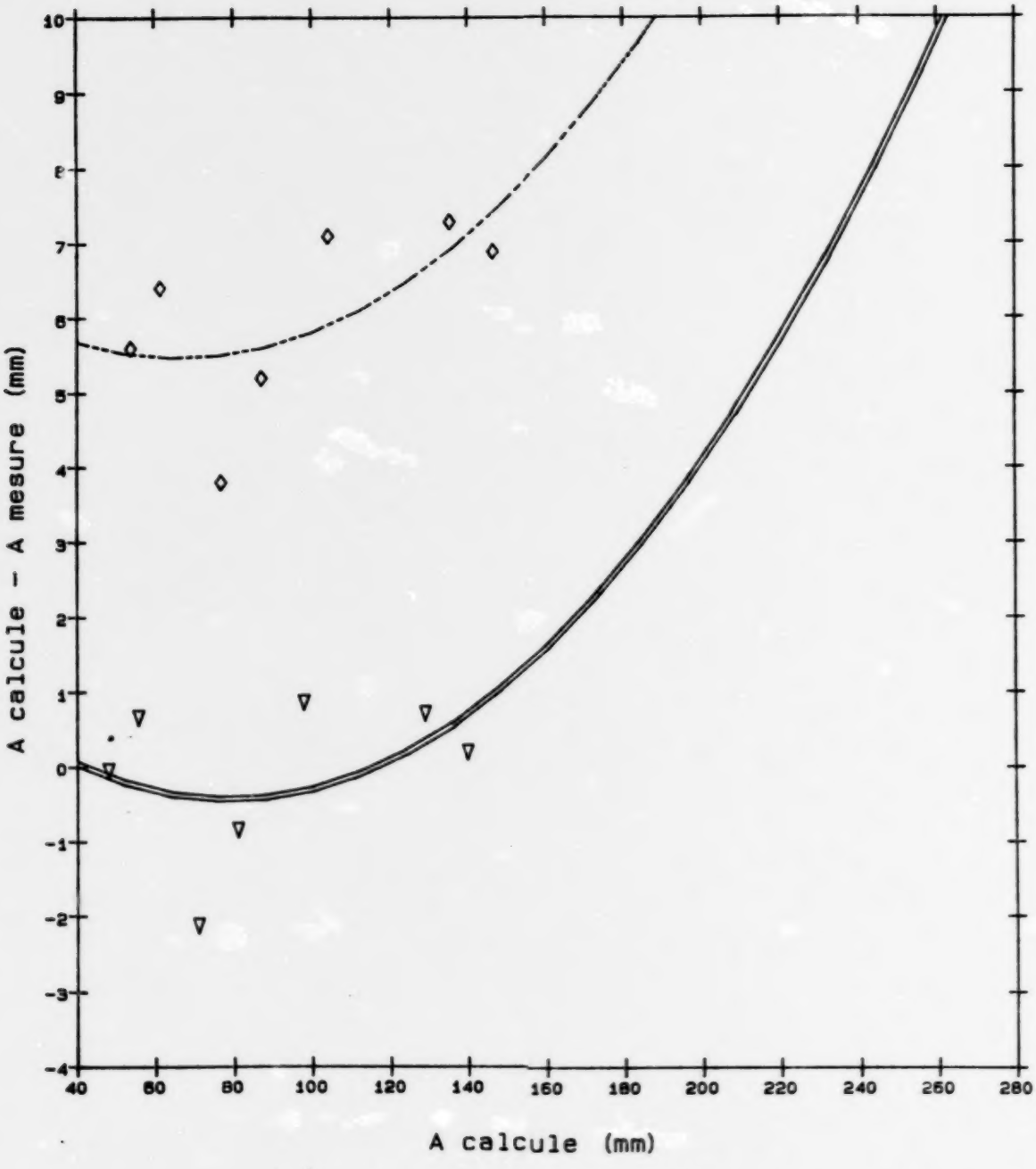


Figure 14

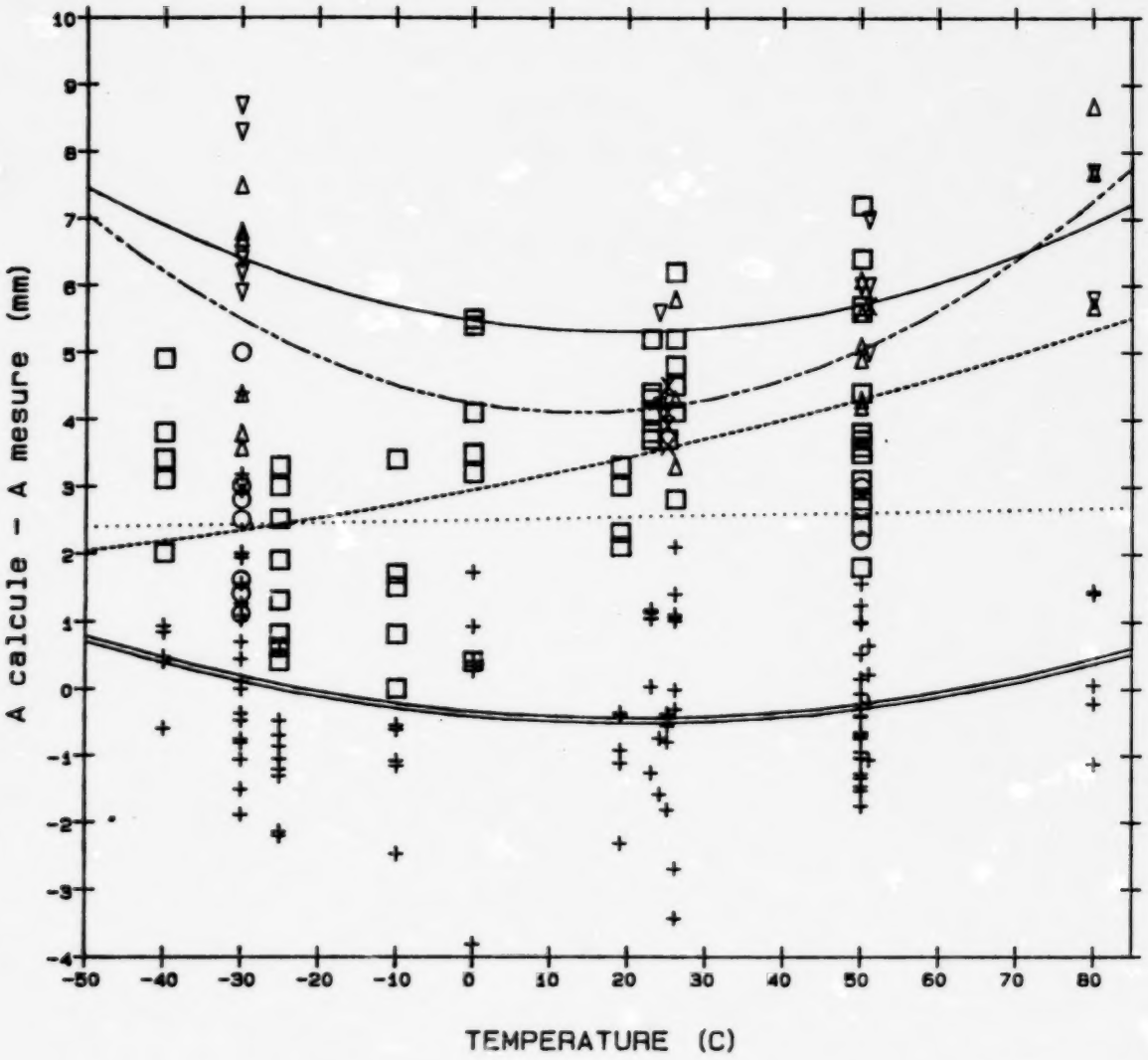
DIFFERENCE ENTRE A calcule ET A mesure EN FONCTION
DE A calcule POUR UNE EPAISSEUR NOMINALE DE 2.8 mm
ET POUR UNE RUPTURE ADHESIVE



◊ ~ 80 C
---------- APPROXIMATION DU 2ieme DEGRE DE 80 C
∇ CORRIGE
═══ APPROXIMATION DU 2ieme DEGRE APRES CORRECT.

Figure 15

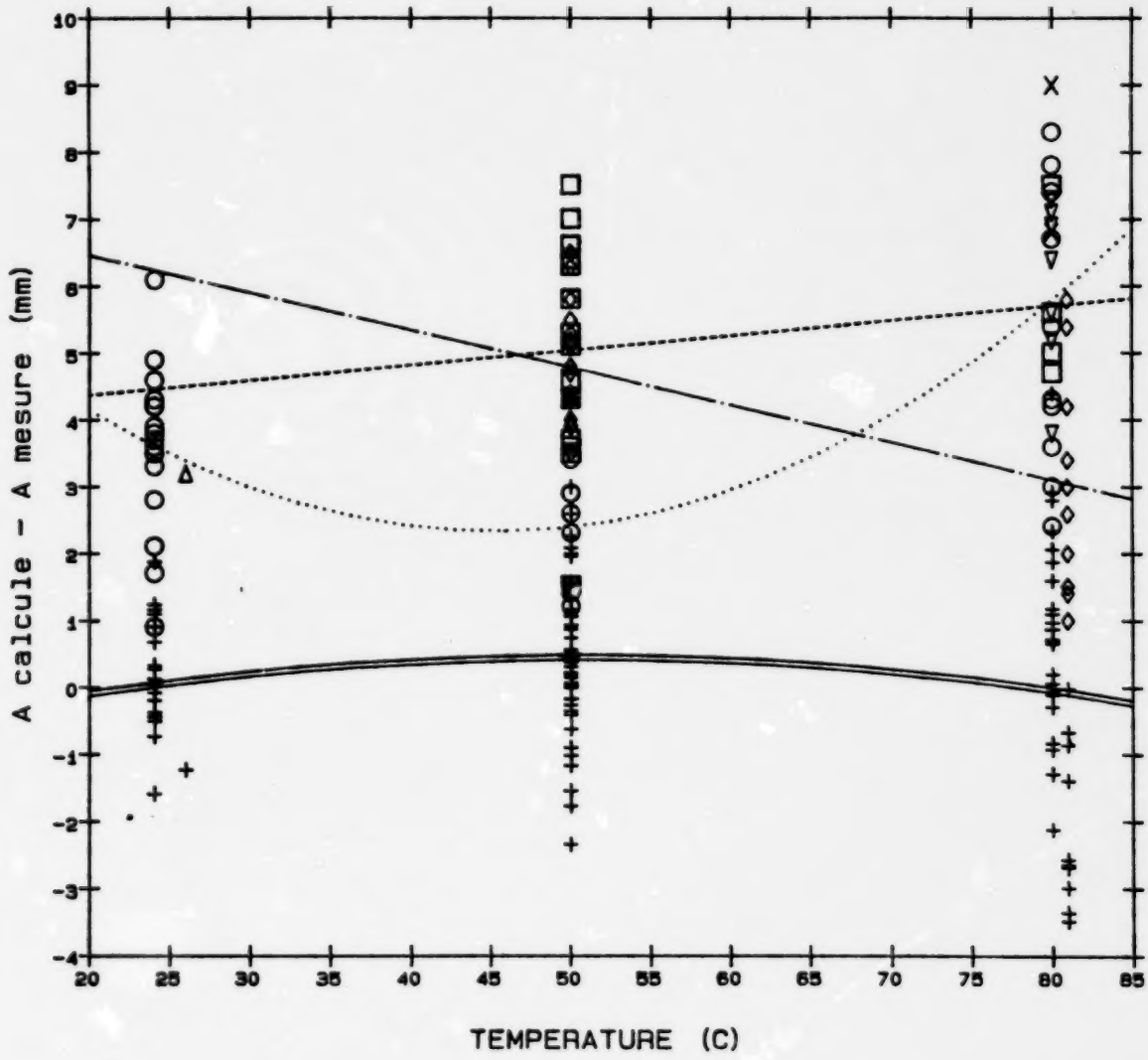
INFLUENCE DE LA TEMPERATURE SUR LA DIFFERENCE
ENTRE A calcule ET A mesure POUR DIFFERENTES
EPAISSEURS DE COLLE ET POUR UNE RUPTURE COHESIVE



○ 0.1 mm
□ 0.3 ET 0.4 mm
△ 2.3 mm
▽ 2.8 mm
..... APPROXIMATION DU 1ier DEGRE DE 0.1 mm
---------- APPROXIMATION DU 2ieme DEGRE DE 0.3 ET 0.4 mm
---------- APPROXIMATION DU 2ieme DEGRE DE 2.3 mm
——— APPROXIMATION DU 2ieme DEGRE DE 2.8 mm
X 1.5 mm
\+ CORRIGE
═══ APPROXIMATION DU 2ieme DEGRE APRES CORRECT.

Figure 16

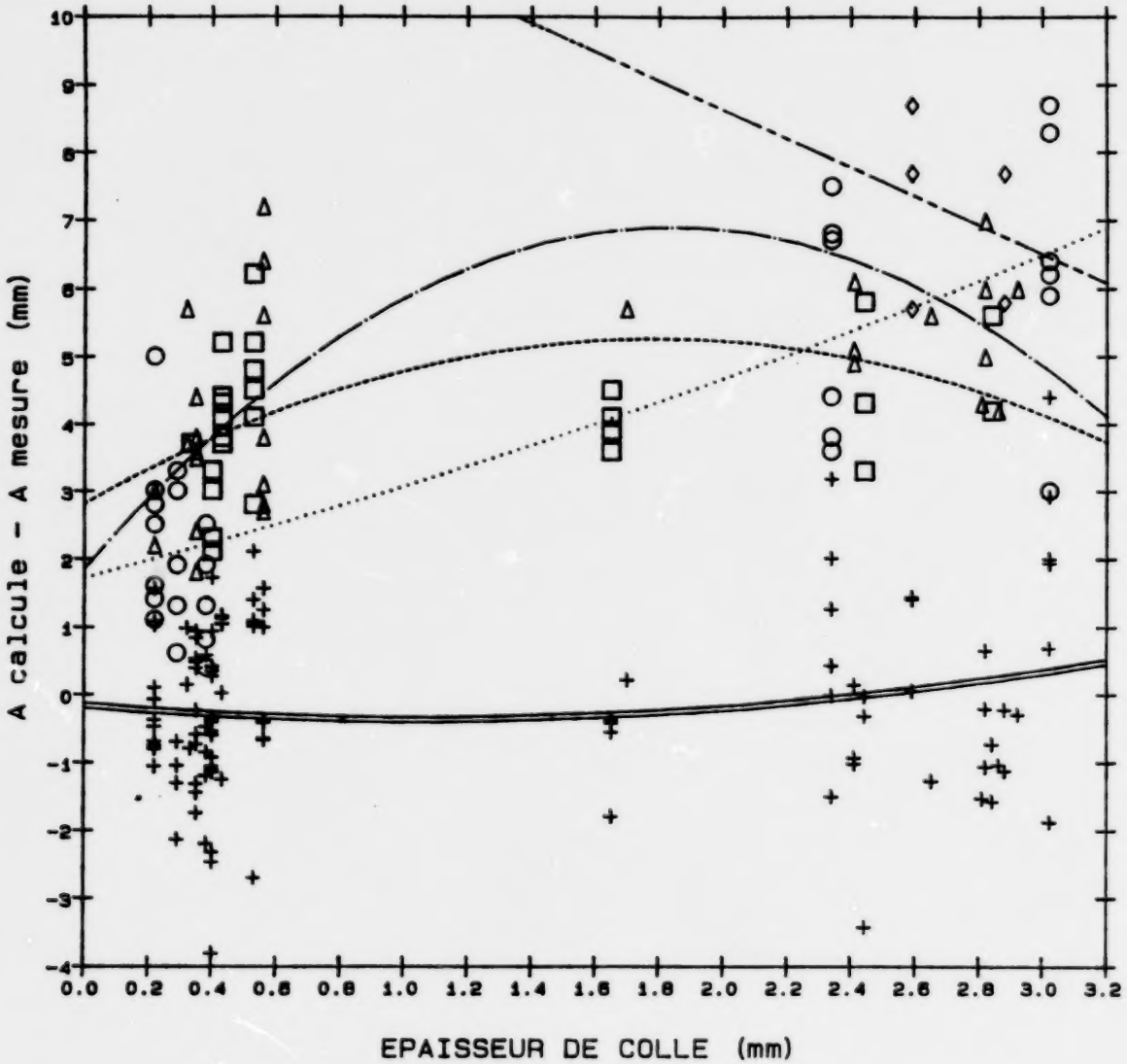
INFLUENCE DE LA TEMPERATURE SUR LA DIFFERENCE
ENTRE A calcule ET A mesure POUR DIFFERENTES
EPAISSEURS ET POUR UNE RUPTURE ADHESIVE



○ 0.1 mm
□ 0.3 ET 0.4 mm
◇ 1.0 mm
△ 2.3 mm
▽ 2.8 mm
····· APPROXIMATION DU 2ieme DEGRE DE 0.1 mm
- - - - - APPROXIMATION DU 2ieme DEGRE DE 0.3 ET 0.4 mm
——— APPROXIMATION DU 2ieme DEGRE DE 1.0 mm
X 1.5 mm
\+ CORRIGE
═══ APPROXIMATION DU 2ieme DEGRE APRES CORRECT.

Figure 17

INFLUENCE DE L'EPAISSEUR DE COLLE SUR LA DIFFERENCE ENTRE
A calcule ET A mesure POUR DIFFERENTES TEMPERATURES
ET POUR UNE RUPTURE COHESIVE



○ ~-30 C
□ ~ 25 C
△ ~ 50 C
◇ ~ 80 C
····· APPROXIMATION DU 2ieme DEGRE DE -30 C
---- APPROXIMATION DU 2ieme DEGRE DE 25 C
——— APPROXIMATION DU 2ieme DEGRE DE 50 C
-·-·- APPROXIMATION DU 1ier DEGRE DE 80 C
\+ CORRIGE
═══ APPROXIMATION DU 2ieme DEGRE APRES CORRECT.

Figure 18

INFLUENCE DE L'EPAISSEUR DE COLLE SUR LA DIFFERENCE ENTRE
A calcule ET A mesure POUR DIFFERENTES TEMPERATURES
ET POUR UNE RUPTURE ADHESIVE

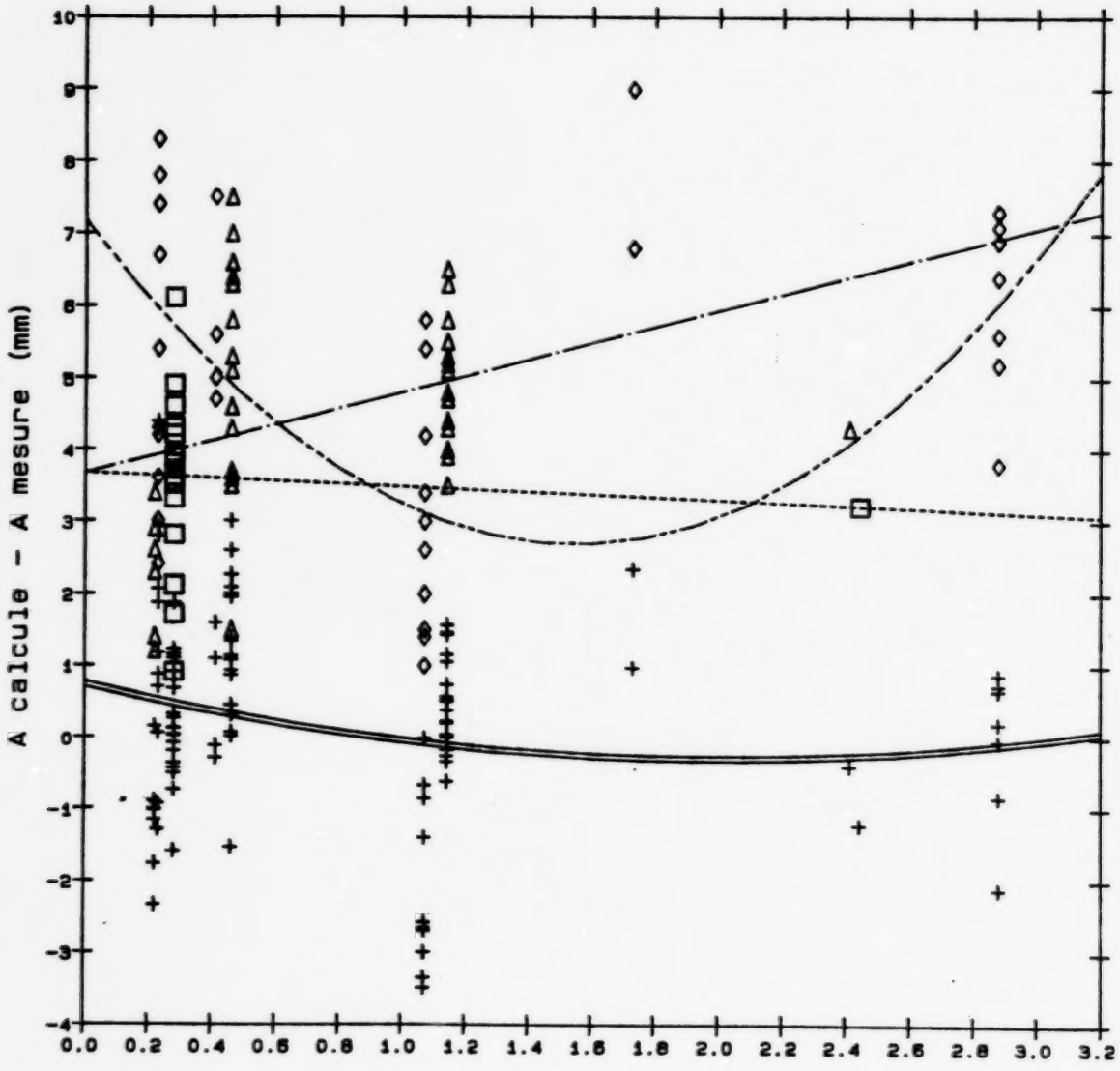


Figure 19

VALEUR FINALE DE Ac-Am APRES CORRECTION EN FONCTION
DE LA VALEUR INITIALE DE Ac-Am

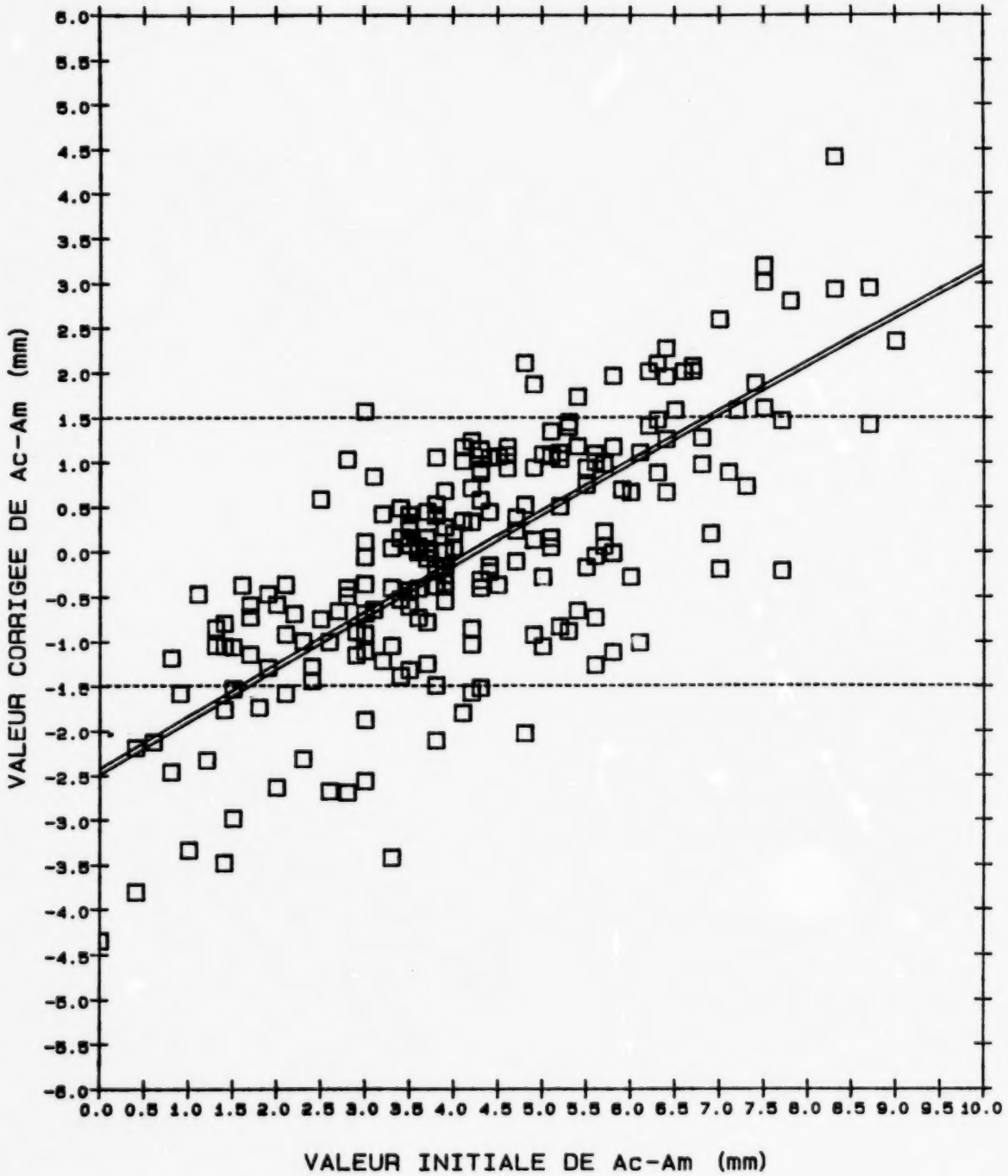


Figure 20

PROBABILITE CUMULATIVE DE LA DIFFERENCE ENTRE
A calcule ET A mesure APRES ET AVANT CORRECTION

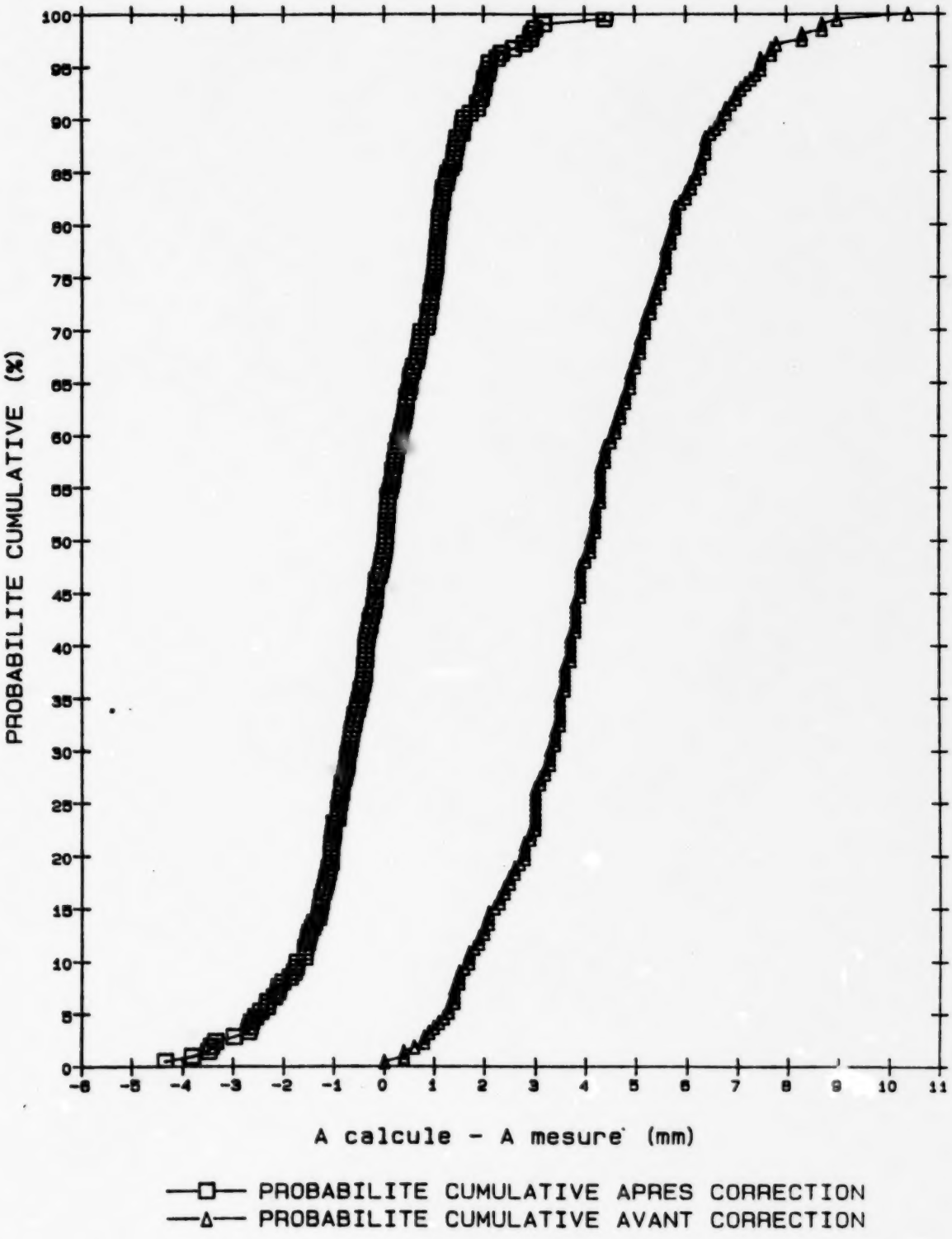


Figure 21